OVER
BEENVORMING

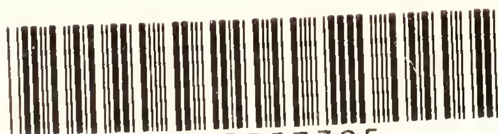
HAAR VERHOUDING TOT TREK EN DRUK

DOOR

Dr. MURK JANSEN

PRIVAAT-DOCENT IN DE ORTHOPAEDIE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN

N. V. Boekhandel en Drukkerij
voorheen E. J. BRILL, Leiden,
1918.


22500557395

OVER BEENVORMING

OVER BEENVORMING

HAAR VERHOUDING TOT TREK EN DRUK

DOOR

Dr. MURK JANSEN
PRIVAAT-DOCENT IN DE ORTHOPAEDIE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN



N. V. Boekhandel en Drukkerij
voorheen E. J. BRILL, Leiden.
1918.

AAN

MIJN HOOGGESCHATTEN VRIEND

GENERAL SIR ROBERT JONES,

C. B., CH. M., F. R. C. S.

INHOUD.

VOORWOORD.

De kennis der krachten welke invloed uitoefenen op de vorming van beenweefsel, biedt den orthopaedist en heelkundige een grondslag voor de behandeling van stoornissen in den vorm en den samenhang der beenderen, welke door de beenverplantingen in den jongsten tijd nog aan beteekenis heeft gewonnen. Voor den ontleedkundige bepaalt zij het inzicht in den bouw en vorm der beenderen. Voor den natuurphilosoof biedt zij gelegenheid, naast mechanische krachten in de levende natuur nog factoren te herkennen die daartoe niet kunnen worden teruggebracht, en die juist in het beenweefsel, door de scherpe begrenzing der mechanische factoren, duidelijk tot uitdrukking komen.

Indien dit boek iets heeft van deze drievoudige beteekenis, dan zal dit zeker voor een belangrijk deel te danken zijn aan Dr. J. W. C. Goethart, die met groote zaakkennis en onuitputtelijk geduld hielp bij het vervaardigen van photographieën, en aan Dr. en Mevr. J. Clay-Jolles, die steeds bereid waren in mechanische vraagstukken van voorlichting te dienen. Aan hen een woord van oprechten dank.

De Schrijver.

Leiden, Juli 1918.

INLEIDING.

In de literatuur heerscht de meening dat trek- evenals drukspanningen een trophischen prikkel op beenweefsel uitoefenen. Trek- en drukspanningen beide zouden de vorming van beenweefsel bevorderen en den inwendigen bouw, ja zelfs den uitwendigen vorm der beenderen bepalen. In de richtingen van den grootsten trek en grootsten druk zou de natuur de beenbanen van de spongiosa aanleggen, als volgens regelen der graphostatica. Deze beenbanen zouden elkaar dus (evenals de richtingen van grootsten trek en grootsten druk die daar heerschen) onder rechte hoeken snijden, geïnsubstantiëerde spanningstrajectoriën vormen [1]), en tusschen haar, in alle andere richtingen, d. i. in die waar druk en trek beneden het maximum blijven, zouden open ruimten gelaten worden als met de zuinigheid der moderne techniek.

Een onderzoek naar de gronden waarop deze op zichzelve zoo schoone en aantrekkelijke voorstelling steunt, gaf aanleiding tot de navolgende verhandeling. De lezer oordeele of die gronden houdbaar zijn, dan wel of een andere voorstelling omtrent de vorming van beenweefsel zoowel als omtrent den bouw en den vorm der beenderen de heerschende zal moeten vervangen.

1) Vgl. b. v. Die trajektoriellen Strukturen von Dr. HERMANN TRIEPEL. — Wiesbaden. BERGMANN 1908.

HOOFDSTUK I.

LITERATUUR-OVERZICHT.

In de vergadering van de „naturforschende Gesellschaft" te Zürich, in den nazomer van 1866 gehouden, vertoonde H. MEYER, de bekende ontleedkundige, een frontale doorsnede van het bovenste dijbeeneinde. Onder de aanwezigen bevond zich CULMANN, de grondvester der graphostatica, die opmerkte dat de beenbalkjes dier doorsnede verliepen „langs dezelfde lijnen die hij zijn leerlingen in een kraan had leeren teekenen", n.l. in de richtingen van den grootsten druk en den grootsten trek. Met die o v e r e e n k o m s t scheen het b e w ij s geleverd dat in de spongiosa der beenderen de plaatjes en balkjes volgens de spanningstrajectoriën zouden zijn gebouwd. Door de statische belasting die den dijbeenhals lichtelijk doorbuigt, en trekspanningen in de convexe zijde opwekt, drukspanningen in de concave, zou de bouw van het dijbeen overeenkomstig zijn aan de richtingen van maximalen trek en druk in een kraan. Dat ook de spieren spanningen in den dijbeenhals opwekken, die vaak grooter zijn dan die der zwaartekracht, en dus ook een aandeel in de vorming der beenbanen zouden kunnen hebben, zag men over 't hoofd. De overeenkomst tusschen de trajectoriën in een kraan en de banen in den dijbeenhals was zóó treffend dat ieder van g e l ij k e n i s tot g e l ij k h e i d besloot zonder nader bewijs noodig te achten. — Dit is de wijze waarop de voorstelling dat

trek zoowel als druk de vorming van beenweefsel bewerkt, haar intrede deed in de geneeskunde, steunend — naar het scheen — op de hechte grondslagen der graphostatica en het vereenigd gezag van mannen als CULMANN en MEYER. In 't volgend jaar reeds gaf MEYER [1]) (1867) een beschrijving van de „Architectur der Spongiosa" [van de beenderen der onderste extremiteit (*Schr.*)] waarin alle elementen die niet rechtstreeks den druk van het lichaamsgewicht te dragen hebben, eenvoudig als trekelementen werden beschreven. Een verschil tusschen zijn schematische afbeeldingen der spongiosa en de trajectoriën der techniek ontging MEYER daarbij intusschen niet. Immers, de trajectoriën in de kraan kruisen elkaar onder rechte hoeken, omdat in elastische lichamen de richtingen van grootsten trek en grootsten druk elkaar onder rechte hoeken snijden. En in MEYER's afbeeldingen kruisen de „trek"elementen de drukelementen onder scheeve hoeken in 't bovenste dijbeeneinde, zoowel als in het hielbeen, het eerste middelvoetbeen en de knieschijf. (Zie H. MEYER, l. c. Tabelle XVII, Fig. 1, 6 en 8). Hieruit had MEYER moeten besluiten dat òf de „trek"elementen van de spongiosa der beenderen niet in de richting van den grootsten trek verloopen, òf de drukelementen niet in de richting van den grootsten druk, of anders dat noch de „trek"elementen aan de richting van grootsten trek, noch de drukelementen aan de richting van grootsten druk beantwoorden. MEYER zwijgt echter over dit toch principiëel onderscheid tusschen de richting der beenelementen in de spongiosa en die der trajectoriën in CULMANN's structuren.

Deze moeilijkheid nu scheen in 1892 door JULIUS WOLFF in zijn „Gesetz der Transformation der Knochen" uit den weg geruimd te worden. WOLFF beperkte zich in dezen fraai uitgevoerden quarto tot het onderzoek van een enkel

1) H. MEYER, Die Architectur der Spongiosa. REICHERT u. DUBOIS-REYMOND'S Archiv für Anatomie, 1867.

skeletdeel — gelijk hij zelf aangeeft — en wel van het coxale dijbeeneinde (blz. 9 l. c.). Hij geeft dan aan dat MEYER het schema van 't bovenste dijbeeneinde foutief geteekend heeft, door de convexzijdige balkjes scheeve hoeken te doen maken met de concaafzijdige. Hij verklaart dat de deelen van de spongiosa elkaar rechthoekig kruisen, en noemt zich den „Entdecker" der „Orthogonalität". Dat CULMANN-MEYER's kraanhypothese juist de „Orthogonalität" tot conditio sine qua non had, ontging WOLFF blijkbaar. Hij beweerde met de „ontdekking" der „orthogonaliteit" te hebben geleverd het mathematisch bewijs dat inderdaad trek zoowel als druk den inwendigen bouw (en zelfs den uitwendigen vorm) der beenderen bepaalt (blz. 92 l. c.). En hij formuleert dit in zijn „Gesetz der Transformation der Knochen" aldus: „Overal waar in een been door een drukkende en overal waar daarin door een trekkende belasting druk- en trekspanningen worden bewerkt, vindt aanmaak van beenweefsel plaats" (blz. 88 l. c.).

Ook van andere zijde scheen inmiddels de bevestiging van de juistheid van CULMANN-MEYER-WOLFF's opvatting gebracht en wel door W. ROUX [1]), die een ankylotisch kniegewricht onderzocht, waarvan de beenelementen — naar hij aangaf — nauwkeurig overeenstemden met de richtingen van grootsten trek en grootsten druk welke hij op eenvoudige wijze wist zichtbaar te maken op rubberschijven in den vorm der kniedoorsneden, na die met paraffine of stearinezuur te hebben bestreken.

Behalve dat WOLFF en ROUX meenden dus de gelijkwaardigheid van druk en trek voor beenvorming te hebben bewezen, meenden zij bovendien dat deze spanningen den eenigen en alles beheerschenden factor in de beenvorming uitmaakten. Zij stelden de leer op van den functioneelen

1) W. ROUX, Beiträge zur Morphologie der functionellen Anpassung, Beschreibung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenkankylose. Archiv f. Anatomie u. Entwickelungsgeschichte, 1885. blz. 120 ff.

vorm der beenderen, volgens welke niet slechts de bouw maar ook de vorm der beenderen geheel „mechanisch", „mathematisch" door druk- en trekspanningen wordt bepaald; en deden daarmee zelfs hun invloed gelden op de natuurphilosophie door de bewering — meer algemeen nog — dat de „gedaante van de organen der levende wezens niet teleologisch maar mechanisch ontstaat" [1]).

De nomenclatuur bleef niet in gebreke haar stempel op deze voorstellingen te drukken. Gelijk bekend, worden in de geometrie zulke tot een systeem behoorende lijnen als b. v. Roux op de rubberplaten zichtbaar maakte, en die elkander onder konstanten hoek snijden, trajectoriën genoemd. De elkaar rechthoekig snijdende lijnen van grootsten trek en grootsten druk welke de graphische statica voor de techniek door teekening leerde bepalen, zijn dus „trajectoriën" en volgens die spanningslijnen geconstrueerde werken „trajectoriëele structuren". En waar het nu bewezen scheen dat de elementen van het beenweefsel volgens de spanningstrajectoriën der graphische statica waren gerangschikt, daar werd ook voor de spongiosa der menschelijke beenderen de benaming „trajectoriëele structuren" ingevoerd. — Wij wijzen er nog eens op dat deze naam met de constantie van den snijdingshoek staat of valt; dat het bestaansrecht van die benaming dus vervalt, wanneer een nader onderzoek zal leeren dat de snijdingshoeken dier elementen wisselen, d. i. soms recht, soms scherp en stomp zijn.

Dit is in 't kort de wordingsgeschiedenis der leer welke aan trek zoowel als druk het vermogen toekent, de vorming van beenweefsel te bewerken resp. te bevorderen, een leer die ook thans, na een halve eeuw, nog steeds de voorstellingen omtrent den bouw, de vorming en de vervorming

1) J. Wolff, l. c. blz. 146.

van het beenweefsel beheerscht, en niet in gebreke gebleven is op de behandeling van beenafwijkingen — beenbreuken en beenverplantingen — haar invloed te doen gelden.

Te vergeefs wees in een even bescheiden als doorwrochte studie ZSCHOKKE [1]) in 1892 er op, dat „waar uitsluitend trek bestaat, d.i. waar de banden niet op een beenige onderlaag drukken, maar waar zij b.v. loodrecht op de beenoppervlakte aangrijpen, zoo te zeggen nooit een uitsteeksel maar veeleer een groeve bestaat" (blz. 19 l. c.); „dat in de diepte van het been daarom toch niet steeds met zekerheid voortgezette beenige vezelsystemen worden waargenomen", dat verder daar waar de aanhechtingsplaatsen der spieren uitsteeksels vormen, „deze uitsteeksels zich niet in de richting van de pezen (van den trek) maar loodrecht daarop ontwikkelen" (blz. 18 l. c.); dat het in phylogenetisch en ontogenetisch opzicht van beteekenis is „dat de eerste beenige skeletaanleg toch steeds dáár voorkomt waar druk kan worden aangenomen", „terwijl anderzijds de „trek"-elementen in 't algemeen in den vorm van banden en pezen, d. i. van week weefsel, voorhanden zijn" (blz. 19 en 20 l. c.) en dat men bepaald „gedwongen (wordt) aan te nemen dat de beenontwikkeling van een bepaalden graad van **druk**spanning in 't weefsel afhankelijk is" (blz. 19 l. c.).

Te vergeefs ook spreekt SOLGER [2]) zijn twijfel uit of trek inderdaad tot beenvorming pleegt te leiden: „Ten einde zekerheid te verkrijgen of trekkrachten welke op geheel regelmatige wijze aan 't been aangrijpen, de richting der beenbalkjes beïnvloeden" — zoo zegt hij — legde ik een menschelijken wervelboog uit de borststreek met het bijbehoorende elastische ligamentum flavum in mikrosko-

1) E. ZSCHOKKE, Weitere Untersuchungen über das Verhältniss der Knochenbildung zur Statik und Mechanik des Vertebraten-Skelettes, Zürich 1892.

2) B. SOLGER, Der Gegenwärtige Stand der Lehre von der Knochen-Architectur, MOLESCHOTT XVI Bd. 1899.

pische sneden evenwijdig aan 't verloop der elastische vezelen. De uitkomst was een geheel negatieve".

Te vergeefs ook zegt BÄHR[1]): „Het waarschijnlijkste is ... dat de spongiosa aan werkelijke spanningskrommen beantwoordt, alleen deze zijn in tegenstelling met de vroegere meening, geen trek- en drukkrommen maar uitsluitend drukkrommen".

Te vergeefs ook zegt E. ALBERT[2]), die een aantal nauwkeurige bijdragen tot de morphologie der spongiosa heeft geleverd: „Tegen de kraantheorie zijn ... zoo afdoende tegenwerpingen gemaakt dat naar den huidigen stand van zaken wel geen onderzoeker het zou ondernemen op grond van deze theorie beschouwingen over 't leven van 't beenweefsel op te bouwen".

Te vergeefs eindelijk zegt ook BÜDINGER[3]), die nauwkeurig de spongiosa der beenderen van de bovenste extremiteit onderzocht, dat zij niet volgens de beginselen der technische wetenschappen is gebouwd.

Te vergeefs, want na MEYER, WOLFF en ROUX hebben, behalve T. ZAAYER[4]), ook v. RECKLINGHAUSEN[5]), KORTEWEG[6]), GHILLINI[7]), O. WALKHOFF[8]), REVENSTORF[9]) en anderen steeds

---

1) F. BÄHR, Betrachtungen über die statischen Beziehungen des Beckens zur unteren Extremität. D. Zeitsch. f. orth. Chir. Bd. V, blz. 55.

2) E. ALBERT, Einführung in das Studium der Architektur der Röhrenknochen, HOLDER, Wien. 1900.

E. ALBERT, Ueber die Architektur der Knochenspongiosa. W. kl. Wochenschr. 1898, blz. 1097.

E. ALBERT, Die Architektur der Tibia. W. med. Wochensch. 1900, N°. 4, 5, 6.

3) K. BÜDINGER, Der Spongiosabau der oberen Extremität. Zeitsch. f. Heilkunde 24 Bd. (Neue Folge 4 Bd.) 1903.

4) T. ZAAYER, De architectuur der beenderen. Ned. Tijdsch. v. Geneesk. 1871. II blz. 113.

5) v. RECKLINGHAUSEN, D. med. Wochenschr. 1893 XIX Jahrg. blz. 507.

6) J. A. KORTEWEG, Die Ursachen der orthopaed. Knochenmissbildung. D. Zeitsch. orth. Chir. Bd. V, blz. 174.

7) CESARE GHILLINI, Die Pathogenese der Knochendeformitäten. D. Zeitsch. f. orth. Chir., Bd. VI 1899, blz. 590.

8) O. WALKHOFF, Der Unterkiefer der Anthropomorphen u. des Menschen in seiner Entwickelung u. Gestalt, 1902, in Selenka, Menschenaffen (Anthropomorphae), Studien über Entwickelung und Schädelbau.

in één adem met den druk ook aan trek een beenvormend vermogen toegekend, hebben mannen als KÖNIG en HOFFA WOLFF's voorstellingen niet alleen aanvaard: maar zijn arbeid ook als een monument van Duitsche wetenschap geprezen, heeft THOMA gemeend op MEYER-CULMANN's voorstelling te kunnen voortbouwen ter verklaring van den schedelbouw [1]), kortom worden onaangevochten de beenderen als trajectoriëele structuren beschreven, welker uitwendige vorm en inwendige bouw de resultanten zouden zijn van de „trek- en drukkrachten die er op inwerken" [2]) en vinden wij tot in den jongsten tijd „WOLFF's wet" genoemd als een richtsnoer voor het gedrag van beentransplantaten in de kliniek [3]).

Zoo heeft de hypothese door CULMANN geopperd, door MEYER op de overige beenderen overgebracht, door WOLFF „mathematisch" „gegrondvest", door ROUX anatomisch „bevestigd", thans een halve eeuw als een hechte hoeksteen in 't gebouw onzer wetenschap gegolden, als een middel ter „onderrichting in de Theorie der Mechanica" (J. WOLFF l. c. blz. 147), als een vast uitgangspunt zelfs voor beschouwingen over de wording der levende natuur (J. WOLFF l. c. blz. 146).

Met het doel nu CULMANN-MEYER-WOLFF-ROUX's dualistische, wijdvertakte en verstrekkende leer der vorming van het beenweefsel aan eigen waarnemingen te toetsen, hebben

---

9) REVENSTORF, Ueber die Transformation der Calcaneusarchitektur. Archiv. f. Entwicklungsmechanik der Organismen v. WILHELM ROUX, 1907, blz. 379.

1) R. THOMA, Ein Beitrag zur Histomechanik des Skelettes u. zur Lehre von dem interstitiellen Knochenwachstum. VIRCHOW's Archiv, 188. Bd., 1907. blz. 303 ff.

R. THOMA, Untersuchungen über das Schädelwachstum und seine Störungen. VIRCHOW's Archiv, Bd. 206, 1911. — Bd. 212, 1913. — Bd. 219, 1915. — Bd. 223, 1916. — Bd. 224, 1917.

2) L. BOLK, Over kruisschedels. Geneesk. bladen 18de reeks, No. XI, blz. 15.

3) F. A. ALBEE, Bonegraft surgery. W. B. SAUNDERS Co., Philadelphia and New-York, 1917.

ROBERT JONES, Notes on military orthopaedics. CASSELL Co. Ltd. London, New-York, Toronto, Melbourne. 1917.

wij voor een veertiental jaren een groot aantal beenderen — normale en (rachitisch) verbogene zoowel als scheefgenezen fracturen —, enkele geheele skeletten die door de gedroogde banden aaneengehouden werden, ankylotische knie-, elleboog- en heupgewrichten met dunne, elektrisch gedreven lintzaag in de meest uiteenloopende richtingen gekliefd. De meest leerrijke dier doorsneden beelden wij af, ten einde ook den lezer in staat te stellen, CULMANN-MEYER-WOLFF-ROUX's dualistische leer der beenvorming — en daarmee de verschillende „bewijzen" voor de vorming van been door trek welke in de literatuur zijn neergelegd, — aan een reeks van nieuwe gegevens te toetsen.

De vragen welke daarbij moeten worden beantwoord, zijn dus in de eerste plaats:

1°. Snijden inderdaad de elementen van de spongiosa elkaar steeds onder rechte hoeken, d. i. verloopen zij inderdaad in de richtingen van grootsten trek en grootsten druk;

2°. komt ergens in de spongiosa been voor in een gebied dat uitsluitend op trek wordt beproefd;

en 3°. ondergaan bestaande beenelementen bij een toename der trekspanningen een verdikking, gelijk dit geschiedt bij toename der drukspanningen;

kortom, gedraagt inderdaad het beenweefsel zich tegenover trek op gelijke wijze als tegenover druk, d. i. wordt inderdaad de vorming van beenweefsel evenzeer bevorderd door trek als door druk?

en in de tweede plaats:

Is inderdaad alle beenvorming afhankelijk van mechanische krachten; en wordt de vorm der beenderen geheel en uitsluitend daardoor bepaald?

HOOFDSTUK II.

ONHOUDBAARHEID DER GRONDEN WAAROP AAN TREK EEN TROPHISCHE INVLOED OP BEEN IS TOEGESCHREVEN.

A. In Kraakbeenbeenderen.

1. Het bovenste Dijbeeneinde.

Alvorens aan te nemen dat een plaatjes- of balkjes-systeem der spongiosa door trekspanningen is teweeg-gebracht, moet in de eerste plaats worden overwogen, of tijdens het leven door die elementen ook druk is voortgeleid. Immers, dat drukspanningen beenvorming kunnen bevorderen of bewerken, wordt door ieder onderzoeker als vaststaand aangenomen en zal zonder meer den lezer bij de beschouwing der navolgende afbeeldingen blijken. Indien dus in een systeem van beenelementen tijdens het leven zoowel trek- als drukspanningen zijn opgewekt, kan dit systeem niet dienen als bewijs dat ook trekspanningen beenvormend hebben gewerkt. Het vaste weefsel toch, onder invloed der d r u kspanningen ontstaan, kan voor de geleiding van t r e kspanningen zijn gebruikt ook zonder dat deze daarop een formatieven prikkel hebben uitgeoefend. Deze eenvoudige waarheid is uit het oog verloren door hen die aan trekspanningen een trophischen prikkel voor beenweefsel toekenden op grond van het feit dat zij mochten aannemen dat trekspanningen door bepaalde beenbanen waren gegaan.

Indien wij b. v. mogen aannemen, dat in 't bovenste dijbeeneinde (van Fig. 1) door het gewicht van den romp tijdens het leven de dijbeenhals (zij 't ook lichtelijk) werd doorgebogen en de convexzijdige banen werden gerekt, dan is daarmee geenszins bewezen dat deze banen door die trekspanningen zijn gevormd of zelfs maar versterkt. Immers, behalve aan deze statische is de dijbeenhals ook aan dynamische belasting — de werking van spieren — onderworpen geweest: aan de drukspanningen welke de Mi. glutaei van de buitenzijde van den trochanter major uit en de Mi. obturatorii, den M. pyriformis en de gemelli van de binnenzijde van den trochanter uit, door de convexzijdige banen van den dijbeenhals hebben gezonden, kan een aandeel in de vorming dier banen niet worden ontzegd, te meer daar deze dynamische belasting de statische vele malen kan overtreffen. De vraag of ook trekspanningen, bij de statische belasting in de convexe zijde van den dijbeenhals opgewekt, haar aandeel hebben gehad in de vorming der convexzijdige beenbanen, wordt dus niet beantwoord door het samenvallen van de richting dier banen met de richting van trekspanningen, doch eischt afzonderlijke bestudeering. Die hebben wij verricht door verschillende normale en verbogen dijbeenhalzen door te zagen waarvan de bouw ons nader tot het antwoord zal brengen.

In Fig. 2 snijden de convexzijdige elementen de concaafzijdige onder zeer scheeve hoeken. Ook in Fig. 3, 4 en 5 is het met de „orthogonalität" weinig beter gesteld, en in Fig. 1 valt 't niet moeilijk tal van scheefhoekige kruisingen aan te wijzen. Verschillen in de richting der doorsneden kunnen voor deze verschillen niet aansprakelijk gesteld worden; alle praeparaten zijn vrijwel nauwkeurig langs de as van den dijbeenhals getroffen. Wij vinden dus op verscheidene plaatsen een scheefhoekige snijding der beenelementen in plaats van een



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

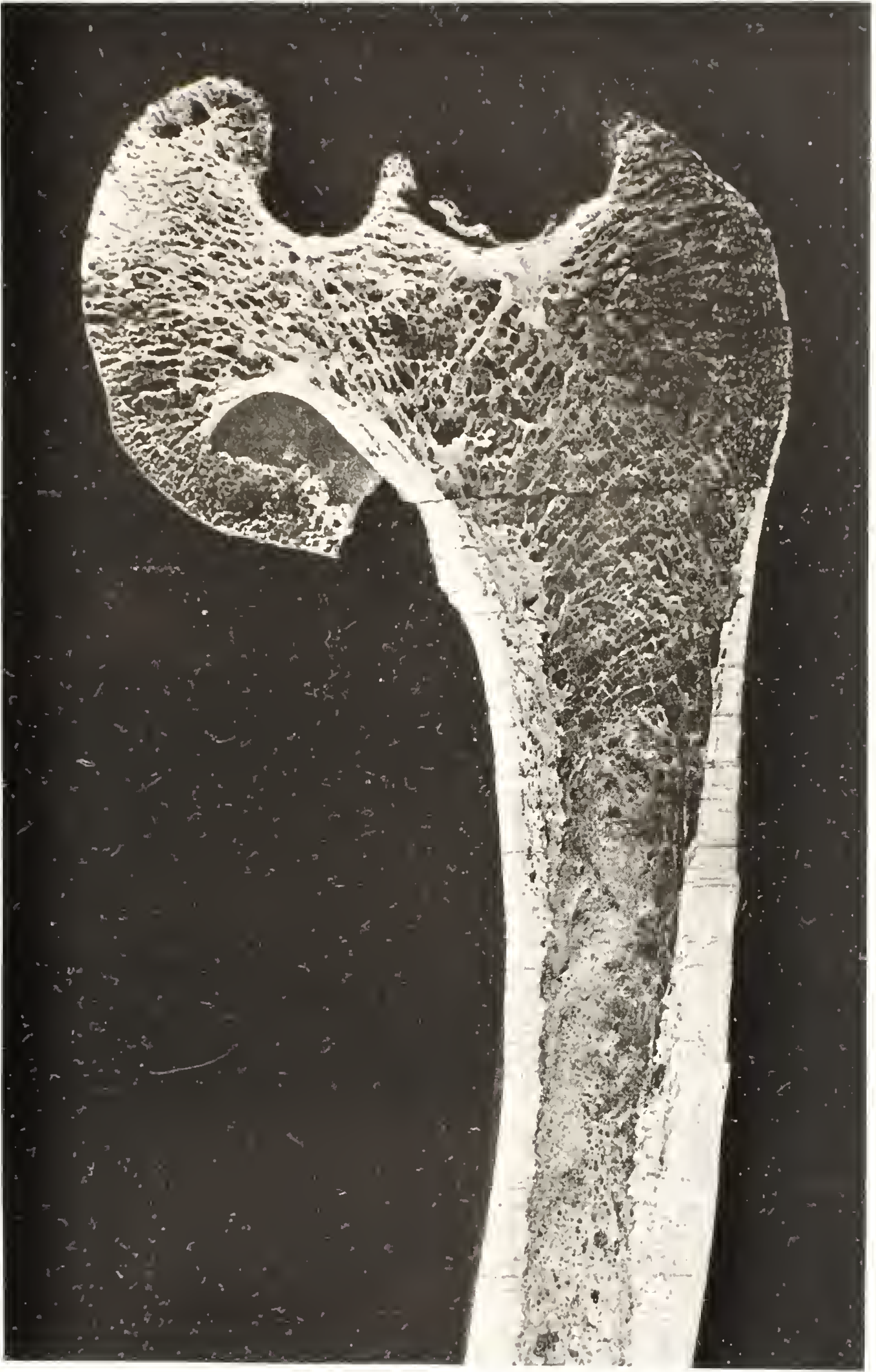


Fig. 4

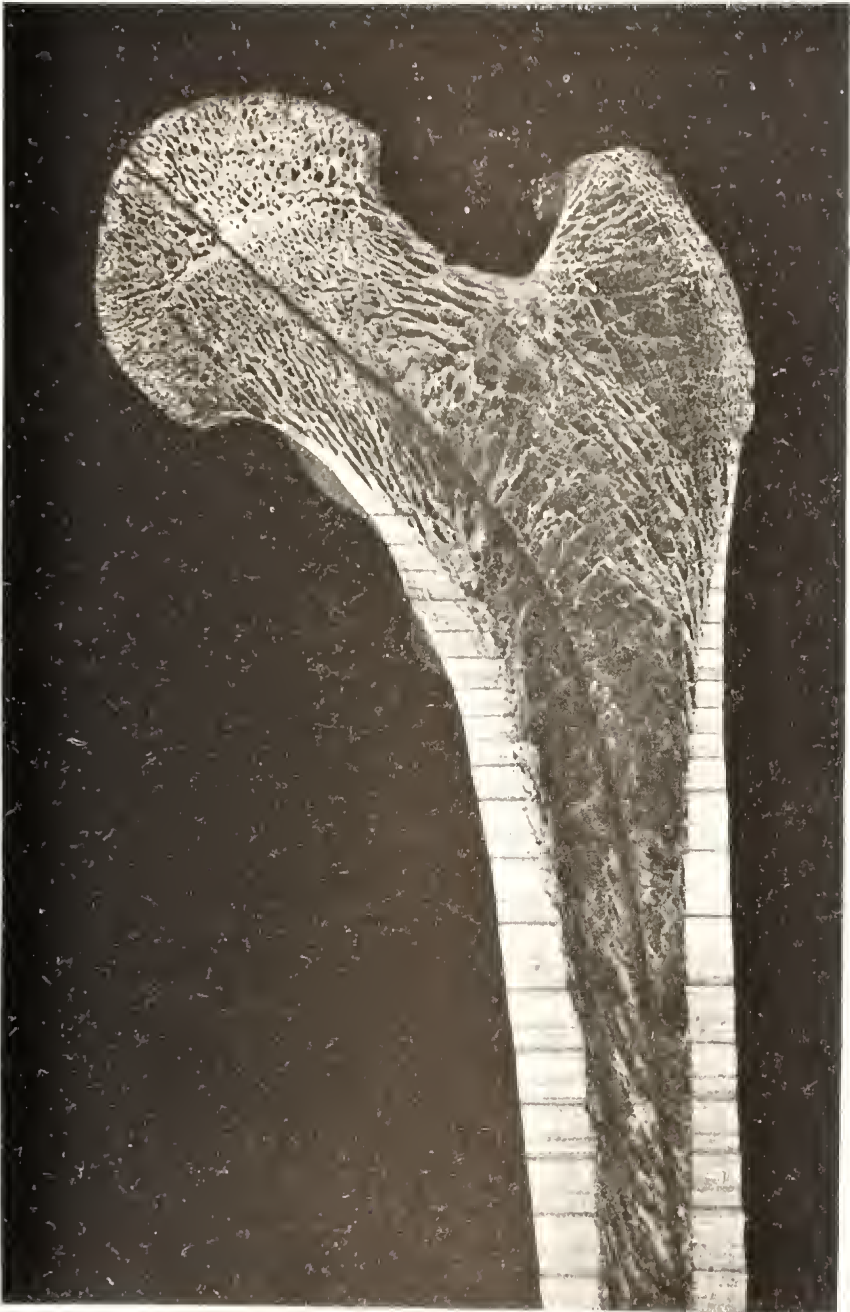


Fig. 5

rechthoekige. Wij herinnerden er reeds aan dat in een elastisch vervormd lichaam, b. v. van de gedaante van een kraan, bij een bepaalde belasting de richtingen van grootsten trek en grootsten druk elkaar steeds onder rechte hoeken kruisen. Mogen wij nu aannemen dat de concaafzijdige elementen aan de richting van grootsten druk beantwoorden, dan zouden de convexzijdige daarmee dus rechte hoeken maken, indien zij inderdaad in de richting van den grootsten trek waren aangelegd. Zij maken geen rechte hoeken. De bouw der afgebeelde dijbeenhalzen beantwoordt dus niet aan CULMANN-MEYER's hypothese, en de convexzijdige elementen mogen niet worden opgevat als te zijn aangelegd in de richting van den grootsten trek. Deze spanning kan niet worden opgevat als de prikkel die de convexzijdige beenelementen heeft gevormd resp. onderhouden, en men moet dus naar andere spanningen omzien die voor hun vorming aansprakelijk kunnen worden gesteld. In ieder geval echter vervalt door de inconstantie der snijdingshoeken van de beenbanen in den dijbeenhals de geheele voorstelling van den trajectoriëelen bouw der spongiosa. Immers, trajectoriëele bouw sluit constantie van de snijdingshoeken in (TRIEPEL, l. c. blz. 2).

Er is echter meer: Fig. 3 en 4, doorsneden van coxae varae, toonen duidelijk atrophie der convexzijdige elementen. De distale helft er van aan de basis van den trochanter major ontbreekt nagenoeg geheel. Slechts dwars door het dijbeenhoofd en langs den bovenrand van den hals, naar de fossa trochanterica gericht, is een deel er van gespaard gebleven, en in Fig. 4 zelfs krachtig aanwezig. Uit den gedeeltelijken ondergang der convexzijdige banen blijkt dus dat zij niet zonder meer als een eenheid kunnen worden opgevat. Voor 't overige zijn deze beenderen (van Fig. 3 en 4) krachtig gebouwd. Dit blijkt uit de dikte der corticalis van de diaphyse van Fig. 3

en de zware spongiosa in het hoofd en het mediale deel van den hals van Fig. 4. Zij hebben dus zeker dienst gedaan om den romp te dragen. Daarbij — d. i. bij de statische belasting — zijn de convexzijdige elementen ceteris paribus meer op trek beproefd en de concaafzijdige meer op druk dan in de norm. Immers, de hoek tusschen hals- en diaphyseas is nader bij den rechten, en daarmee 't moment van de buigende kracht grooter. De toename der drukspanningen aan de concave zijde heeft dan ook tot verdikking der concaafzijdige corticalis geleid. (Men vergelijke deze met de norm in Fig. 1). De trekspanningen hoewel grooter, zijn echter in gebreke gebleven een sterker ontwikkeling der convexzijdige elementen te bewerken. Wij nemen het tegengestelde waar, n.l. een vermindering van de dikte der convexzijdige elementen bij deze coxae varae. In plaats van een gelijkheid in de reactie van het beenweefsel op druk en op trek, treffen wij hier een tegenstelling aan: Op druktoename een verdikking, bij trektoename een verdunning der beenelementen. Een parallelisme tusschen trekspanningen en de dikte der beenelementen ontbreekt, terwijl tusschen drukspanningen en de dikte der beenelementen hier — als overal — een parallelisme wordt aangetroffen. Immers, de drukspanningen der convexe zijde zijn verminderd: de drukspanningen toch welke de M. glutaeus minimus en medius in (de convexe zijde van) den dijbeenhals kunnen opwekken, worden kleiner naarmate de hoek tusschen hals en schacht kleiner wordt, om bij een gegeven graad van coxa vara = 0 te worden, en in uitsluitend trekkende (d. i. den dijbeenhals verder doorbuigende, de convexe zijde rekkende) spanningen over te gaan. Met deze vermindering van den druk aan de convexe zijde verloopt dus de verdunning der convexzijdige banen weer evenwijdig, in weerwil van de toename van den trek. Kortom, de dikte der concaaf- en

convexzijdige elementen in verschillende dijbeenhalzen vertoont een parallelisme met de grootte der drukspanningen, terwijl tusschen de grootte der trekspanningen en de dikte der beenelementen elk parallelisme ontbreekt. En in 't navolgende zal dit een regel blijken waarop wij ook in andere beenderen vergeefs een uitzondering zoeken.

Terloops merken wij op dat de trochanter major, aan welks boven- en buitenzijde de krachten van den M. glutaeus medius en minimus aangrijpen, atrophisch is en naar boven vergroot — een typisch, bekend en hinderlijk progressief verschijnsel der coxa vara. In den trochanter major van de coxa vara vinden wij dus naast verdunning der beenbanen op drukvermindering ook verlenging of „rekking" bij gelijktijdig bestaanden trek. Dat dit verschijnsel van het beenweefsel van „rekking" op trek (bij verminderden druk) zich ook buiten den trochanter major kan vertoonen, zal nog nader blijken. Wij zullen daarin den grond vinden voor een circulus vitiosus die zich opent met de afname der drukspanningen en de toename der trekspanningen in de convexe zijde van den dijbeenhals, d. i. voor het progressief verloop dat de coxa vara kenmerkt, zoodra zij zekeren graad overschrijdt.

Terwijl wij dus in den naar boven vergrooten trochanter major (zie Fig. 2, 3, 4 en 5) de beenelementen verdund vinden, en in de coxa vara (zie Fig. 3 en 4) bovendien 't onderste deel der convexzijdige banen, zien wij in de coxa vara 't bovenste deel dier convexzijdige banen van de fossa trochanterica langs den bovenrand van den hals en dwars door 't hoofd van 't dijbeen, weer gehandhaafd. En het feit dat dit gebied juist beantwoordt aan de plaats en de richting waarin de M[i]. obturatorii, de pyriformis en gemelli drukspanningen in het been opwekken, is niet zonder beteekenis, en is een verdere grond die ons het recht ontneemt, de convexzijdige

elementen van den dijbeenhals aan trekspanningen toe te schrijven.

In de convexe zijde der coxa vara zien wij dus afname der spongiosaelementen daar waar afname van drukspanningen bestaat. De trekspanningen veroorzaken daarin geen verdikking van het beenweefsel, zelfs waar zij de norm overschrijden, doch laten een verdunning toe en leiden tot rekking van het (dunner geworden) beenweefsel van den trochanter. De studie der coxa vara levert dus volledige tegenspraak met de aanname dat trekspanningen de beenvorming bevorderen. Integendeel wijst zij er op dat drukspanningen noodzakelijk zijn om het beenweefsel te onderhouden en in staat te doen blijven ook aan trekspanningen weerstand te bieden.

De boven beschreven waarnemingen betreffen verbogen beenderen, en men zou kunnen meenen dat het verschil hunner reactie op druk met die op trek afhankelijk kon zijn van ziekte van het beenweefsel. In 't navolgende zullen wij echter hetzelfde verschijnsel ook aan normale beenderen leeren kennen. M. a. w. wij zullen ook in normale beenderen dezelfde tegenstelling leeren kennen in de reactie van het beenweefsel op druk en die op trek, en daarop vergeefs een uitzondering zoeken.

Samenvattend mogen de convexzijdige elementen in den dijbeenhals **niet** worden opgevat als beantwoordend aan de richting van **maximalen** trek, daar zij de drukelementen der concave zijde vaak onder **scheeve** hoeken snijden. Dit geldt voor normale (Fig. 1) zoowel als voor verbogen beenderen (Fig. 2—5). De convexzijdige banen van den dijbeenhals mogen zelfs niet als elementen van trek worden opgevat, omdat:

1°. in hun richting tijdens het leven ook drukspanningen — en wel door de korte dijbeen-bekkenspieren — worden opgewekt, en

2°. bij een toenemen van de trekspanningen een verdunning dier elementen wordt waargenomen.

Hiermee vervalt elke grond voor Culmann-Meyer's kraanhypothese, het uitgangspunt voor de opvatting over den trajectoriëelen bouw van de spongiosa der beenderen en in 't algemeen voor de aanname dat trekspanningen voedend op beenweefsel werken.

2. Het Hielbeen.

Het tweede been waarin men trekelementen heeft meenen te vinden, is de calcaneus. Sedert H. Meyer ziet men daarin algemeen de deelen van een vouwtrap belichaamd. Twee banen, van de bovenste gewrichtsvlakte uitgaande, worden op druk beproefd, terwijl een derde, de ondereinden der beide eerste verbindend, den trek zou hebben te weerstaan[1]). Dit „trek"band is duidelijk in Fig. 6 — doorsnede van een voetskelet door de as van het derde middelvoetbeen — waarin nog juist een klein deel van 't cuboid zichtbaar is, dat in zijn meest mediale deel is gekliefd. Vergelijkt men nu hiermee Fig. 7, een snede door 't tweede middelvoetbeen en Fig. 8, een snede door 't eerste van denzelfden voet, dan blijkt het „trek"band van de laterale naar de meer mediaal gelegen zijde van 't hielbeen dunner te worden en eindelijk — behoudens de corticalis — (zie Fg. 8) geheel te verdwijnen. M. a. w. 't „trek"band is voornamelijk — zoo niet uitsluitend — dáár aanwezig waar 't cuboid tegen 't hielbeen wordt aangedrukt door de krachten welke aan 't 4de en 5de middelvoetbeen en de bijbehoorende teenen in proximale richting aangrijpen — het gebied waardoor de korte en lange teenstrekkers en -buigers met de caro quadrata Sylvii en den M. peroneus brevis en tertius, zoowel tijdens het staan als tijdens het loopen, drukspanningen in cuboid en cal-

1) H. Meyer, l. c. blz. 620.

caneus opwekken. Mediaal daarvan, waar deze drukspanningen hooger verloopen, langs de cuneiformia en het naviculare naar den talus, veel meer dan naar 't hielbeen, neemt het "trek"band af. Zijn ontwikkeling in de verschillende doorsneden vertoont dus een parallelisme met de grootte der drukspanningen welke de voetspieren in de beenderen van middelvoet en voetwortel opwekken. En het gaat toch niet aan, dien drukspanningen welker aanwezigheid vaststaat, elk aandeel in de vorming der bedoelde elementen te ontzeggen, en het „trek"band eenvoudig als het produkt van trekspanningen te beschouwen die normaliter door de concave zijde van het voetgewelf zouden verloopen, en welker aanwezigheid nog moet bewezen worden. Doch ook indien als bewezen wordt aangenomen dat 't basale gedeelte van het hielbeen in zijn lengterichting normaliter ook aan trekspanningen onderworpen wordt — gelijk dit in abnormale gevallen, n.l. bij insufficientie der spieren (d. i. bij den platvoet), door de rekking en pijnlijkheid der tarsometatarsale banden waarschijnlijk mag worden geacht — ook dan zou nog niet bewezen zijn dat deze trekspanningen een aandeel hebben in de vorming der voorachterwaartsche elementen in de basis calcanei, omdat aan de drukspanningen van de plantaire spieren die tevens worden opgewekt, een trophische invloed niet kan worden ontzegd. Ten opzichte van het hielbeen evenals van den dijbeenhals en de overige beenderen heeft Meyer de fout begaan slechts de statische belasting (door het lichaamsgewicht) in aanmerking te nemen en de dynamische belasting (door spierwerkîng) buiten beschouwing te laten, waarop Zschokke (l. c.) 't eerst gewezen heeft. Juist het feit dat normaliter de convexe zij van den dijbeenhals en 't basale gedeelte van het hielbeen door inwerking van spieren aan **druk** zijn blootgesteld, ontneemt ons het recht de beenelementen in



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

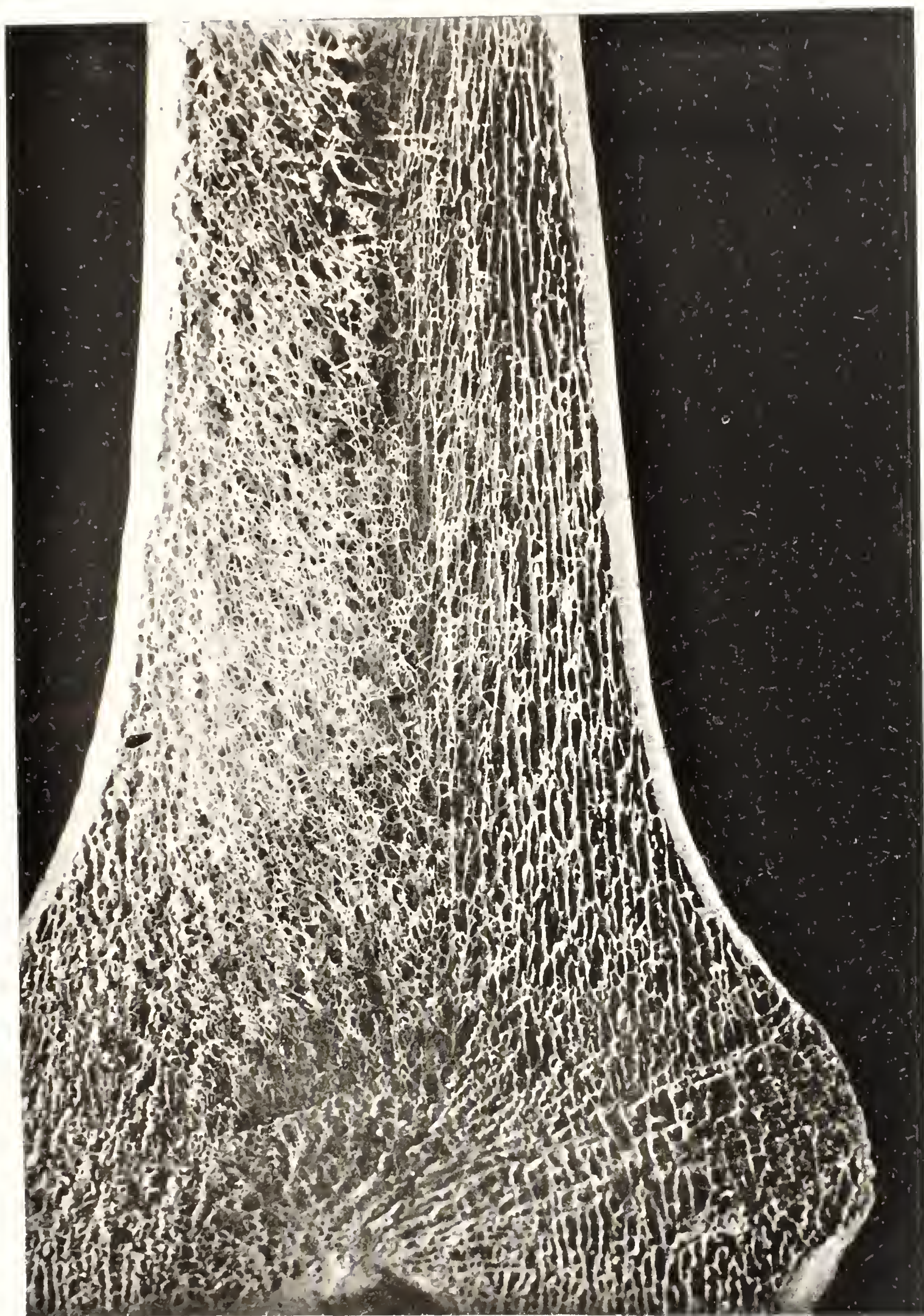


Fig. 9

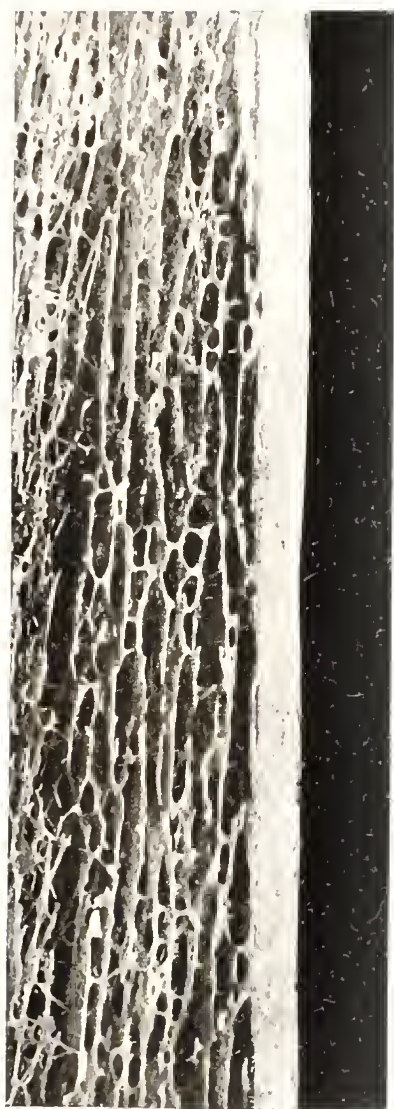


Fig. 10

die gebieden als produkten van **trek** op te vatten. En zoo hebben zoowel de basale elementen in het hielbeen als de convexzijdige banen in den dijbeenhals ten onrechte gegolden als voorbeelden dat trek beenvormend vermogen bezit.

3. De dwarse Elementen der Spongiosa.

Behalve de beide boven behandelde systemen zijn door Meyer en zijn navolgers ook alle overige beenelementen welke ± loodrecht op elementen van duidelijken druk gericht waren, eenvoudig als „trek"elementen opgevat en door hem eveneens „trekbanen" genoemd. Zoo b. v. de ± evenwijdig aan de gewrichtsvlakte verloopende elementen in het ondereinde der tibia (zie Fig. 7 en 44) in de bases der metatarsalia, de cuneiformia en het naviculare (zie Fig. 6, 7, 8 en 48), het bovenste tibiaeinde (zie Fig. 41 en 42), de patella (Fig. 45), het onderste dijbeeneinde (zie Fig. 9 en 10).

De stelling dat in elastische lichamen de richtingen van grootsten trek steeds loodrecht staan op die van grootsten druk, keerde Meyer eenvoudig om, door te zeggen: de elementen der spongiosa die loodrecht staan op die van druk, n.l. den druk van 't lichaamsgewicht, zijn trekelementen. En de niet loodrecht op de drukelementen verloopende dwarselementen werden stilzwijgend bij de loodrecht verloopende ingedeeld. Het kan toch een nauwkeurig onderzoeker als Meyer niet ontgaan zijn dat een aantal dier dwarselementen scheeve hoeken met de overige maken, wat door een blik op de loupevergrootingen der spongiosa van 't onderste dijbeeneinde en ook zonder vergrooting voor de patella van Fig. 45 duidelijk wordt. Meyer zelf geeft althans in zijn schematische teekeningen der spongiosa deze kruisingen op verschillende plaatsen — zeer terecht — scheefhoekig weer. Voor deze scheefverloopende elementen kan dus niet worden aangenomen dat

zij in de richting van maximalen trek verloopen. Ook voor deze structuur vervalt daarmee de aanname dat zij een trajectoriëele zou zijn. De wisselende grootte der hoeken waaronder de elementen elkander kruisen, sluit zonder meer reeds de gedachte aan een trajectoriëelen bouw uit. Hier kan dus slechts de redeneering gegolden hebben: in elastische lichamen kruisen drukkende en trekkende krachten elkaar; hier is kruising, dus beantwoorden de elementen aan druk en trek. Doch ook déze omgekeerde stelling is onhoudbaar, daar in de dwarsgerichte elementen wel degelijk ook drukspanningen worden voortgeleid. Immers, wanneer in het balkjessysteem van Fig. 11 een balkje *ab* naar rechts doorbuigt, zullen wel is waar alle dwarsbalkjes in de ruimte *k* worden gerekt, d.i. op trek worden beproefd, maar die in *l* worden samengedrukt. Bij een zuiver rechtlijnigen, mathematischen bouw van de spongiosa en een belasting nauwkeurig samenvallend met de richting *ab* der balkjes, zouden dus de dwarse balkjes even vaak op trek als op druk worden beproefd. De vertikale balkjes vormen echter nimmer een zuiver rechtlijnig, doch veelmeer een onregelmatig gegolfd verloop. 't Is nu duidelijk dat bij een gegolfd verloop (zie Fig. 12) der vertikale elementen de ± horizontale balkjes *m*, die holle gedeelten der vertikale elementen verbinden, bij een druk *pp'* op trek worden beproefd, een balkje *n* meer op druk. Alvorens aan te nemen dat de dwarse elementen der spongiosa trekelementen zijn, hadden Meyer en zijn navolgers moeten aantoonen dat die dwarse elementen voornamelijk of uitsluitend voorkomen op plaatsen overeenkomende met die der balkjes *m*, waar holle gedeelten der vertikale elementen naar elkaar toegekeerd zijn. Dit is echter niet geschied, zoodat elk bewijs of elke schijn van bewijs ont-

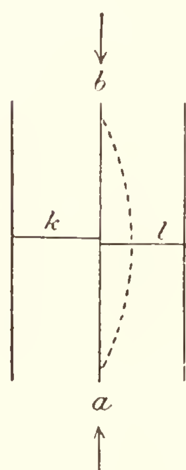


Fig. 11.

breekt dat de dwarse elementen van de spongiosa door trek zijn teweeggebracht.

Trachten wij aan de loupevergrootingen van Fig. 9 en 10 na te gaan of de plaats der dwarse elementen in 't algemeen meer overeenkomt met die van *m* (in Fig. 12), dan vinden wij dat de onregelmatigheid der golvingen van de vertikale elementen het moeilijk maakt, voor elk dwarsbalkje aan te geven of het bij de statische belasting door het lichaamsgewicht op druk dan wel op trek zou worden beproefd, en dit te meer, omdat de vertikale elementen die op een bepaald punt hunner doorsnede de kromming naar rechts vertoonen, in een iets dieper vlak vaak weer tegengesteld gekromd zijn, of omgekeerd. Het lijdt echter geen twijfel of een groot aantal der dwarse elementen verbinden de vertikale elementen juist daar waar deze met de convexe zijde naar elkaar toegekeerd zijn, waar hun belasting den onderlingen afstand zou verkorten, en dus de dwarsbalkjes zouden worden gedrukt. Een aantal dwarsbalkjes vormt bovendien scheeve hoeken met de vertikale elementen. En hiermee moge zijn duidelijk geworden dat de dwarse elementen der spongiosa ten onrechte en op onvoldoende gronden als elementen van trek, en a fortiori van grootsten trek, d. i. als produkten van trekspanningen, resp. de grootste trekspanningen, zijn opgevat. Zij dienen zeker deels, mogelijk alle, tot voortgeleiding van druk.

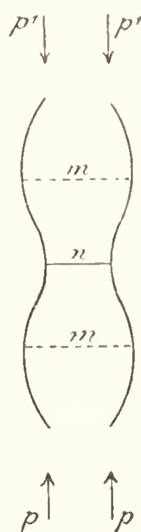


Fig. 12.

4. Het beenig geankyloseerde Kniegewricht.

Hebben wij in 't bovenstaande de waarde leeren kennen van de gronden waarop Culmann, Meyer en Wolff aan

trekspanningen een trophischen prikkel op beenweefsel toekenden, zoo rest ons thans, de feiten te leeren kennen, waarmee Roux heeft gemeend, een nadere bevestiging van deze opvatting te leveren. Deze zijn ontleend aan een beenig geankyloseerd kniegewricht, welker afbeelding in Fig. 13 is weergegeven. Roux geeft aan, de corticalis daarvan voorzichtig te hebben verwijderd, zoodat de oppervlakkige lagen der spongiosa — gedeeltelijk *(Schr.)* — zichtbaar zijn. Wij ontleenen deze afbeelding aan Julius Wolff's Gesetz der Transformation der Knochen. In Roux's verhandeling zelve over dit onderwerp [1]) ontbreekt zij n.l. Daarin vinden wij slechts de schematische teekening die Fig. 14 weergeeft, en waarvan Roux aangeeft dat zij „dieselben Charactere der Biegungsconstruction (hat) wie Fig. 15 — welke evenals Fig. 14 door photographie aan Roux's verhandeling is ontleend. — Een vergelijking van Fig. 14 met 15 doet echter aanstonds een verschil zien tusschen de buigingsconstructie van Fig. 15 eener- en 't verloop der beenbanen van Fig. 14 (en 13) anderzijds. In de schematische figuur 15 toch zien wij de lijnen welke aan de concave zijde beginnen, alle weer naar de concave zijde terugkeeren. Het zijn de lijnen welke de richtingen van maximalen trek weergeven bij een doorbuiging door druk in de richting der pijltjes teweeggebracht. De lijnen van maximalen druk gaan alle van de convexe zijde uit, en loopen door, tot zij deze weder bereiken. In Fig. 14 (en 13) echter zien wij nergens banen welke van de concave zijde komen en daartoe terugkeeren, en evenmin banen welke aan de convexe zijde beginnen en aan diezelfde zijde eindigen. Men gevoelt bijna spijt dat Roux de corticalis van Fig. 13 (en 14) niet iets verder verwijderd heeft, waardoor had kunnen worden waargenomen of inderdaad de beenele-

1) W. Roux, Archiv f. Anatomie u. Entwicklungsgeschichte. 1885. Blz. 120 ff. l.c.

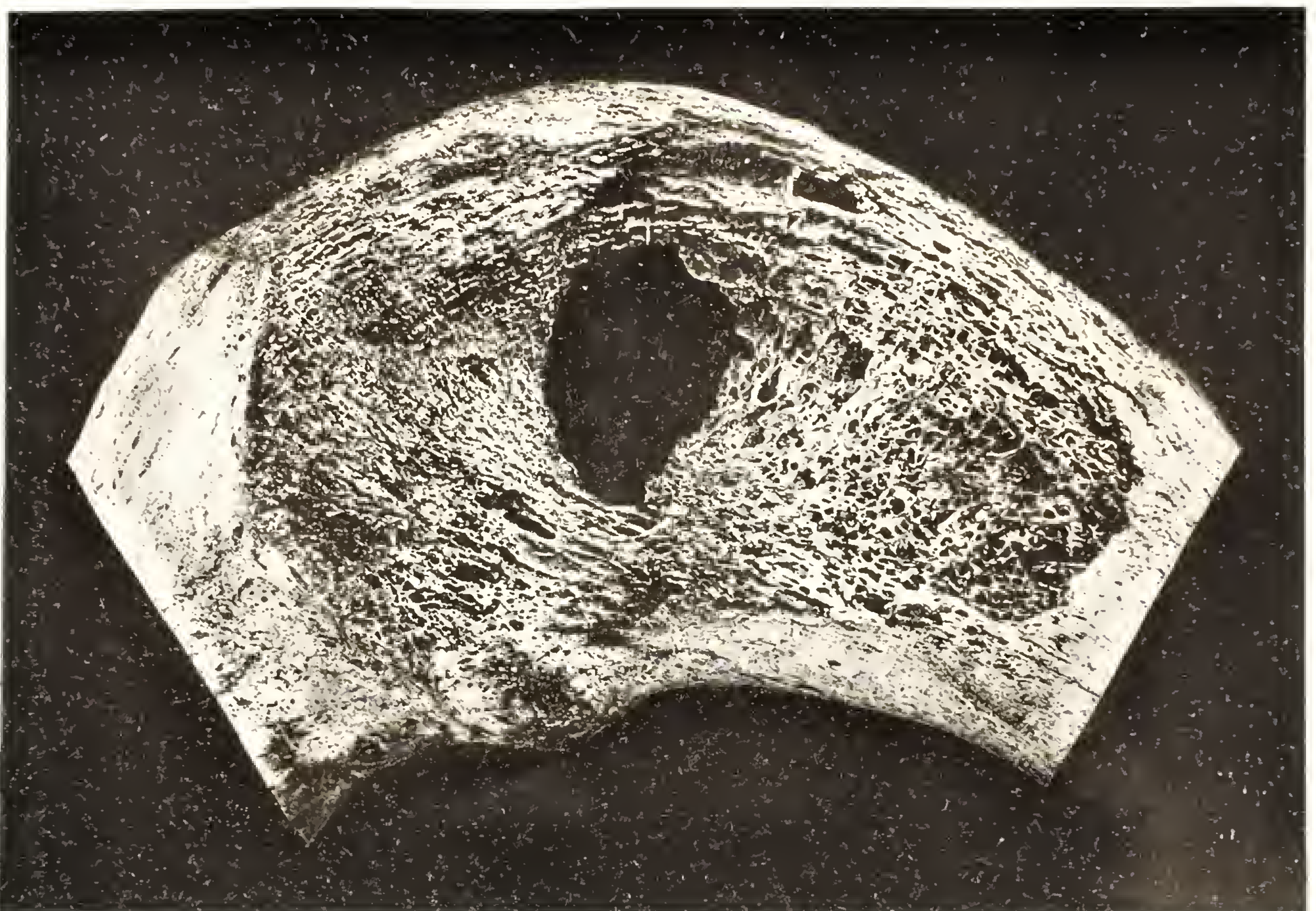


Fig. 13



Fig. 14

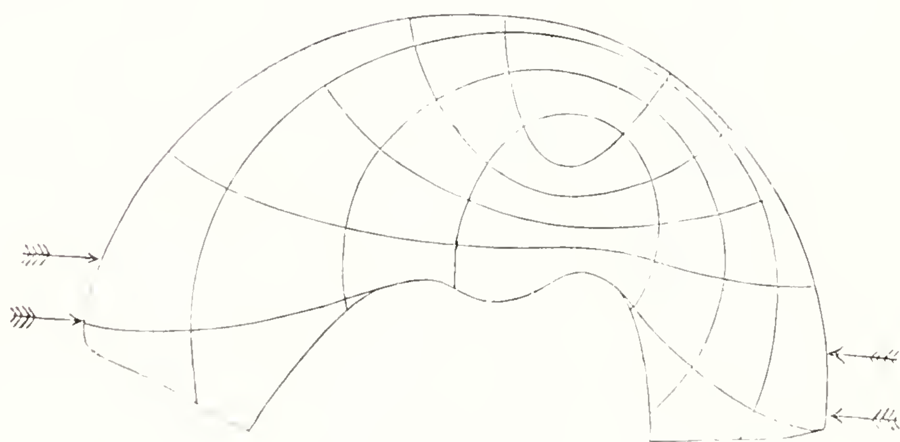


Fig. 15

menten der knieankylose terugkeeren naar dezelfde zijde van waar zij zijn uitgegaan. ROUX liet echter in de ankylotische knie de corticalis zitten juist daar waar de feiten het bewijs hadden moeten leveren voor de juistheid van CULMANN-MEYER's hypothese van den trajectoriëelen bouw van de ankylotische knie. ROUX vulde de feiten aan met zijn fantasie [men vergelijke zijn ankylotische knie (Fig. 14) met zijn schema (Fig. 15)], geleid — en gelijk wij zagen (zie blz. 11) misleid — door de aanname van de juistheid dier hypothese. En de kans dat deze fantasie, deze onbewezen meening, als feit zou worden aangenomen in de wetenschap, werd verhoogd, doordien de afbeelding van de ankylotische knie zelve in ROUX's verhandeling ontbreekt. — Ook twee lengtedoorsneden welke ROUX door de ankylotische knie maakte, wijken even principiëel van de daarbij gegeven schemata af. Wij kunnen die hier niet alle afbeelden en moeten den belangstellenden lezer daarvoor verwijzen naar JULIUS WOLFF l. c., Tafel VIII, Fig. 51, 53, 54 en 55 en blz. 53.

Het is hier niet de plaats, de psychische gronden voor deze verschillen tusschen de feiten en de voorstellingen der feiten na te speuren. Niettemin mogen zij ons een waarschuwend voorbeeld zijn.

Alvorens nog de resultaten van ons eigen onderzoek mede te deelen, willen wij vaststellen dat w e g e n s d e **afwezigheid** i n R o u x 's a n k y l o t i s c h e k n i e (Fig. 13) v a n d e k a r a k t e r i s t i e k e **trek**e l e m e n t e n w e l k e i n z i j n **model** (Fig. 15) v a n d e c o n c a v e z i j d e l a n g s d e c o n v e x e e n v e r d e r w e e r t e r u g n a a r d e c o n c a v e z i j d e i n o n a f g e b r o k e n k r o m m i n g v e r l o o p e n, d e g r o n d o n t b r e e k t, den bouw van die knie met de banen van zijn model gelijk te stellen, d e l a n g s d e c o n v e x e z i j d e v a n F i g. 1 3 v e r l o o p e n d e b a n e n a a n t r e k spanningen t o e t e s c h r i j v e n. In 't navolgende zal trouwens blijken dat langs

die convexzijdige banen de inwerking van drukspanningen gedurende het leven niet is uit te sluiten zoomin als langs de concaafzijdige. In geen der door ons onderzochte knieankylosen troffen wij de „trek''elementen van Roux's schema (Fig. 15) aan. Men zie Fig. 16, 17 en 18, alle aan eenzelfde ankylotische knie ontleend. In Fig. 16 en 17 is wel een gebogen systeem zichtbaar. Dit verloopt echter slechts van 't ondereinde van 't dijbeen naar de bovenzijde van het scheenbeen in voor-achterwaartsche richting: in 't dijbeen blijft het aan de voorzijde, zoodat het ongeveer de helft vormt van een „trek''element in Roux's schema. De andere helft, die in het dijbeen zou moeten liggen en zich van de voorzij weer naar de achterzijde voortzetten, ontbreekt. Juist de afwezigheid van deze helft ontneemt ons ook hier weer het recht, dit systeem met het door trek teweeggebrachte systeem van Roux's model (Fig. 15) gelijk te stellen.

Hierbij komt dat ook drukspanningen door de vóórzijde zelfs eener (in gebogen stand) geankyloseerde knie verloopen:

1°. blijft bij knieankylose de M. rectus femoris, ook na ondergang van de drie andere hoofden van den M. extensor cruris quadriceps, als polyarticulaire spier gehandhaafd[1]), en oefent bij elke buigbeweging in de heup — zij 't ook lichte — strekbeweging uit in de knie. En de mogelijkheid valt niet te ontkennen dat de kleine strekbewegingen die door de resten der gewrichtsspleet aan de voor- en achterzijde van Fig. 17 mogelijk zijn, tot de vorming der gebogen banen hebben geleid;

2°. worden, zoolang de buigingshoek klein is, bij

---

1) Bij ankylotische gewrichten blijven de polyarticulaire spieren in betrekkelijk goeden staat, terwijl de monarticulaire spieren atrophiëeren. Zie Murk Jansen, Die polyarticulären Muskeln als Ursache der arthrogenen Contracturen. Archiv. f. klinische Chirurgie Bd. 96, 3.

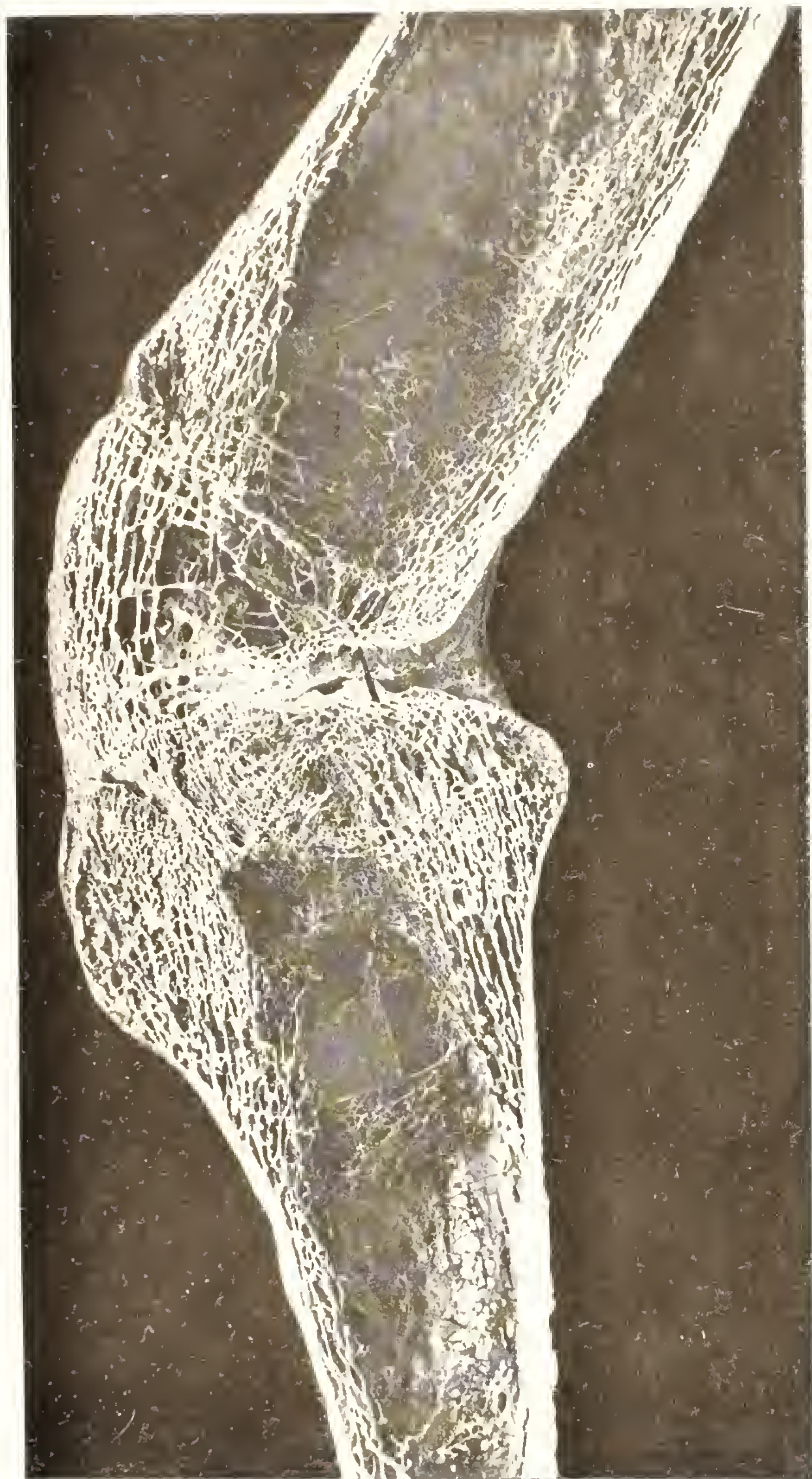


Fig. 16



Fig. 17.

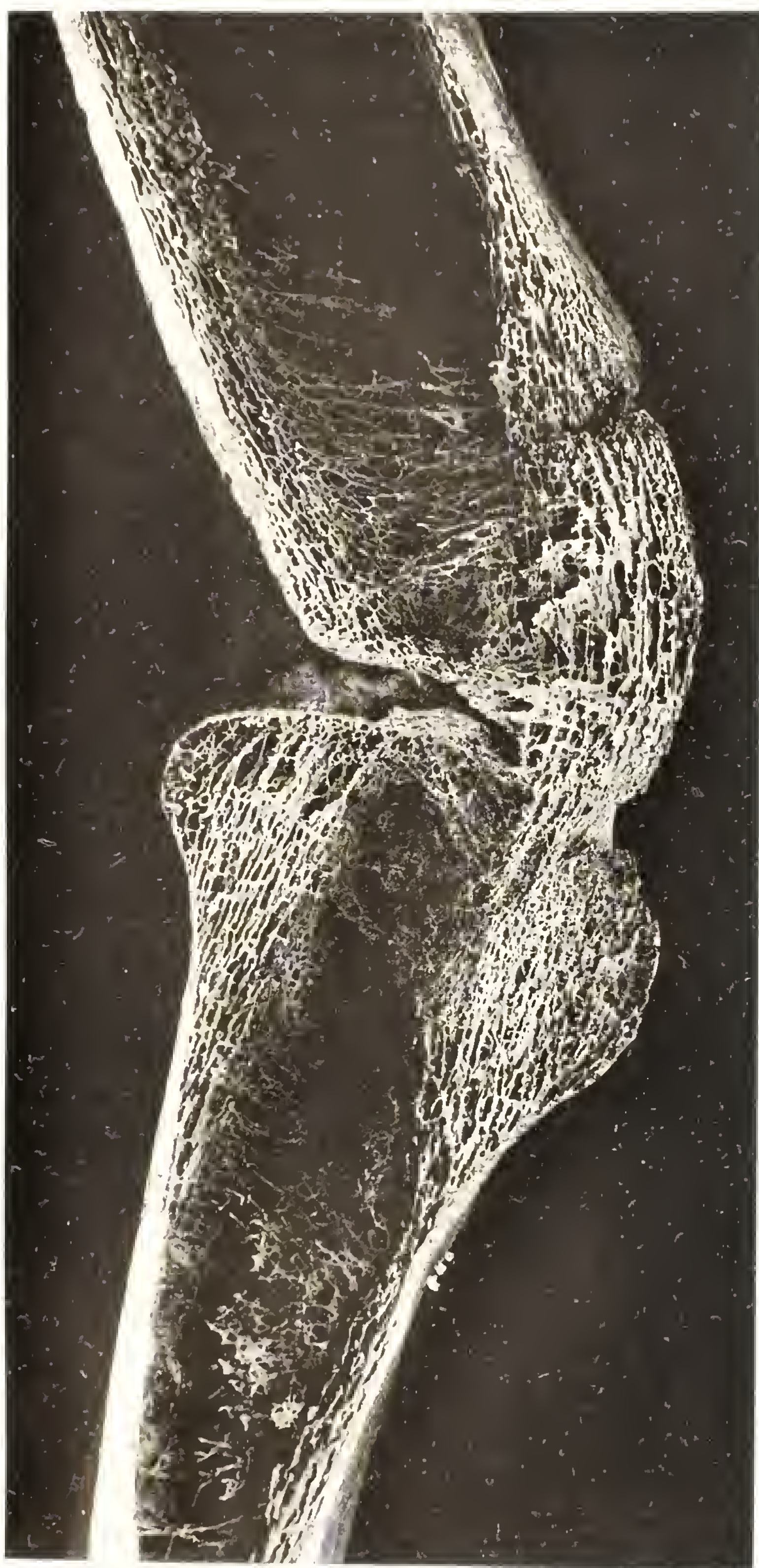


Fig. 18

't staan met voorovergebogen romp in de voorzijde van 't kniegewricht drukspanningen opgewekt. Immers in die houding kan ook een normaal individu zich licht daarvan overtuigen dat binnen zekeren buigingsgraad de beide knieschijven volkomen bewegelijk blijven, dat m. a. w. de strekkers ongebruikt blijven, wat bewijst dat de zwaartelijn vóór de draaiingsas van 't gewricht verloopt. Bij bestaande ankylose in dienzelfden stand verloopen dus ook drukspanningen in hetzelfde gebied van de vergroeide femur en tibia;

3°. wanneer de knie in sterke buiging geankyloseerd is, d. i. wanneer femur en tibia onder kleinen, b. v. scherpen, hoek vergroeid zijn, zoodat de voet den grond niet meer kan raken, dan zendt 't eigen gewicht van 't onderbeen drukspanningen door de voorzijde van 't geankyloseerde gewricht. Wordt daarbij een stelt gebruikt onder de knie, dan geschiedt hetzelfde telkens na 't opheffen van het been;

4°. kan iedere belastende druk die b. v. door 't lichaamsgewicht op 't beenig vergroeide gewricht wordt uitgeoefend en de voorzijde rekt, indien hij plotseling eindigt (zooals bij 't loopen kan geschieden), door een trillende beweging worden gevolgd waarbij de trekspanningen der voorzij periodiek met drukspanningen afwisselen.

Terloops moet er op gewezen worden dat de trillende bewegingen waarvan hier sprake is, van grooter beteekenis zullen zijn naarmate het gewicht der trillende deelen grooter is. Deze is, gelijk bekend, evenredig aan 't gewicht van het trillende deel. Zoo is 't begrijpelijk dat de coxa vara, waarvan 't proximale deel — dijbeenhals en hoofd — licht is en met uiterst geringe wrijving in de heupkom verplaatsbaar, den invloed van deze trillende beweging in haar convexe zijde in 't geheel niet vertoont.

Hoe dit zij, juist het feit dat door de convexe zijde van ankylotische kniegewrichten ook

drukspanningen gaan, verbiedt ons de convexzijdige banen in die gewrichten als producten van trekspanningen op te vatten. Immers, zij kunnen door de drukspanningen teweeggebracht zijn. En daarom zijn ankylotische kniegewrichten ongeschikt om uit te maken of trekspanningen tot beenvorming kunnen leiden.

Bedenkt men ten slotte dat in een elastische staaf welke trillende bewegingen uitvoert, zooals die bij de functie van een ankylotische knie mogelijk moeten geacht worden (zie sub 4°.), langs dezelfde banen trek- en drukspanningen elkaar afwisselen, en de drukspanningen dus in onderling loodrechte richtingen afwisselend optreden, dan wordt begrijpelijk dat, ook wanneer uitsluitend drukspanningen been aanmaken, de structuur nochtans uit loodrecht op elkaar staande banen kan zijn opgebouwd, die van een door trekèn drukspanningen teweeggebrachte constructie niet te onderscheiden behoeft te zijn. Zoo kan dus in Fig. 19 de dikke corticalis met haar divergeerende banen in de vergroeide knieschijf door druk zijn ontstaan tijdens een strekkende „beweging" op een of meer der wijzen, sub 1—4 aangegeven, gelijk de corticalis der achterzijde met de van achter naar voren verloopende banen tijdens een buigende belasting, d. i. eveneens door druk, kan zijn teweeggebracht. En hetzelfde geldt in Fig. 20 voor de banen die de voorzijde van dij- en scheenbeen vereenigen, resp. de voor-achterwaarts verloopende systemen.

Eenerzijds ontbreekt dus in de beenbanen der ankylotische knieën regelmatig een geheel systeem van de trajectoriën welke in de „buigingsconstructies" voorhanden zijn; n.l. banen die aan de concave zijde beginnen, langs de convexe zijde boogvormig verloopen om weer in de concave zijde te eindigen, en omgekeerd. Anderzijds moet als vaststaand aangenomen worden dat op al de aanwezige banen druk heeft ingewerkt. En



Fig. 19



Fig. 20

daarom kunnen noch de beenbanen der ankylotische knie van Roux, noch die der ankylotische knieën welke wijzelf onderzochten, gelden als steun voor de aanname dat trek op beenweefsel een vormenden of zelfs voedenden invloed uitoefent.

B. In Bindweefselbeenderen.

1. De Onderkaak.

Nadat eenmaal door Culmann, Meyer, Wolff en Roux de gelijkheid der beteekenis van trek en druk voor beenweefsel en daarmee de trajectoriëele bouw van een aantal kraakbeenbeenderen eenstemmig bewezen scheen, lag het voor de hand dat ook de bindweefselbeenderen uit hetzelfde gezichtspunt zouden worden bezien. Dit is geschied in een studie over de onderkaak door dr. Otto Walkhoff [1]). Daarin worden alle banen in welker richting zich trekspanningen laten denken, zonder meer als trekelementen opgevat: Zoo worden banen die in den processus coronoideus verloopen, „trek"-trajectoriën van den M. temporalis genoemd (blz. 240 l. c.). Twee lange beenbanen, van 't capitulum mandibulae onder de alveoli naar voren in de onderkaak verloopend — trajectorium dentale en trajectorium basale — en elkander in 't collum mandibulae kruisend, worden trajectorium bifidum genaamd, dat zich „in de wijze zijner belasting gedraagt gelijk de ingemetselde kraan van Culmann". Elk bewijs voor deze bewering ontbreekt. Slechts de — gelijk wij zagen — onhoudbare meening dat de

1) Dr. Otto Walkhoff, Der Unterkiefer der Anthropomorphen und des Menschen in seiner funktionellen Entwicklung und Gestalt. Wiesbaden, Kreidel 1902. (Selenka, Studien zur Entwicklungsgeschichte der Tiere II en III).

overige beenderen trajectoriëele structuren zijn, is de grond voor de aanname dat hier trekspanningen de richting van de beenbanen bepalen. Dat in de banen van den processus coronoideus mandibulae ook drukspanningen kunnen opgewekt zijn, b.v. wanneer de onderkaak zijdelings bewogen wordt (als bij kauwbewegingen), of ook wanneer hij bij wijdgeopenden mond door den M. temporalis naar achteren getrokken wordt, wordt door WALKHOFF buiten beschouwing gelaten. Dat bij geopenden mond het achterste (onderste) gedeelte van 't capitulum mandibulae den druk opvangt, en mogelijk dezelfde drukspanningen opgewekt in het trajectorium dentale als bij gesloten mond het voorste (bovenste) deel van het capitulum in het trajectorium basale, wordt evenmin door hem overwogen. Aarzelt de physicus zich uit te spreken over het verloop van spanningen in eenvoudige elastische lichamen, hier ontbreekt elke aarzeling, zelfs waar het geldt een zoo samengesteld lichaam dat aan de tallooze krachten van daaraan aangrijpende spieren en weerstanden tusschen de tandrijen is blootgesteld. En dit alles steunende op de leer van CULMANN, MEYER, WOLFF en ROUX, welke — gelijk wij zagen — op haar beurt steunt op onhoudbare gronden. Het spreekt van zelf dat, vóór aan de interpretatie der beenbanen door WALKHOFF eenige beteekenis kan worden toegekend, eerst in de richting zijner „trek"-trajectoriën drukspanningen zullen moeten worden uitgesloten, en dan zal moeten worden aangetoond dat toename der trekspanningen in de richting der „trek"trajectoriën met een verdikking der beenbanen gepaard gaat, een afname der trekspanningen door verdunning, resp. verdwijnen der beenbanen wordt gevolgd, kortom dat hier inderdaad tusschen trekspanningen en beenvorming een parallelisme bestaat dat wij allerwege waarnemen tusschen drukspanningen en beenvorming.

In de verschillende kraakbeenbeenderen welke in 't vorenstaande besproken werden, zagen wij zulk een parallelisme tusschen trekspanningen en beenvorming ontbreken. En het behoeft dus wel geen betoog dat wij het voor de bindweefselbeenderen niet met WALKHOFF zóó maar, zonder eenig bewijs, mogen aannemen.

In WALKHOFF's verhandeling over de onderkaak zien wij dus geenszins een bewijs voor den trajectoriëelen bouw der bindweefselbeenderen, maar slechts de geloovige toepassing op een der bindweefselbeenderen van een onhoudbare stelling die vóór hem door anderen voor de kraakbeenbeenderen was opgesteld.

2. SCHEDELDAK EN PERIOSTAAL BEEN.

Ook in het schedeldak heeft men gemeend steun te vinden voor de opvatting dat trekspanningen beenvormend vermogen bezitten. THOMA [1]) gaat in zijn „Histomechanik des Skeletts" en zijn „Untersuchungen über das Schädelwachstum" — evenals WALKHOFF — uit van de meening dat „de spongiosa van 't menschelijk dijbeen de gelijkwaardigheid van trek en druk voor beenvorming bewijst" [2]). Ook hier dus vormt de geloovige aanname van CULMANN-MEYER's hypothese het uitgangspunt. Bovendien neemt THOMA aan dat, terwijl druk slechts langs den weg van kraakbeen been zou kunnen vormen uit bindweefsel, d. i. niet direct uit bindweefsel, trek been zou kunnen vormen direct uit bindweefsel, zoowel als uit kraakbeen, wat — 't moge terloops opgemerkt worden — niet met de „gelijkwaardigheid van trek en druk voor beenvorming" strookt. Trekspanningen, door den intracraniëelen druk in 't schedeldak opgewekt, zouden nu

1) R. THOMA, Virchow's Archiv 1907. Bd. 188, blz. 354 ff.
2) Id. blz. 355.

de verbeening daarvan bewerken. Verbeening van bindweefsel door trekkende krachten wordt dus ook hier op den onhoudbaren grond van CULMANN-MEYER's kraanhypothese, d. i. onbewezen, als bewezen aangenomen.

Met deze grondstellingen wordt b.v. verklaard het feit dat de beginnende schedelverbeening beenbanen vertoont die straalswijze van de tubera parietalia uitgaan [1]). De intracraniëele druk, die loodrecht op het schedeldak inwerkt, wekt — zoo zegt THOMA terecht — trekspanningen op in het schedeldak evenwijdig aan 't oppervlak verloopend. Deze intracraniëele druk nu (loodrecht op het oppervlak inwerkend) zou te klein zijn om kraakbeen, resp. been uit het bindweefselig schedeldak te vormen, wel echter zouden de trekspanningen (door dienzelfden druk evenwijdig aan 't schedeldak daarin opgewekt) groot genoeg zijn om been te doen ontstaan direct uit bindweefsel. Eigenlijk zou die beenvorming slechts door een gedeelte dier trekspanningen worden bewerkt: de door den druk opgewekte trekspanningen zouden n.l. uitgaan van de tubera parietalia, en dan begrijpelijkerwijze deels straalswijze, deels in concentrische kringen verloopen. Slechts de straalswijze verloopende trekspanningen zouden nu sterk genoeg zijn voor beenvorming, de concentrisch verloopende trekspanningen zouden weer te zwak zijn. — Ook voor den lezer, wien deze „verklaring" bevredigt, rijzen de vragen:

Indien inderdaad trekspanningen, door den intracraniëelen druk in het vliezig schedeldak opgewekt, de oorzaak zijn van verbeening van 't bindweefsel, waarom verbeent dan ook niet de dura mater? En indien inderdaad trekspanningen bindweefsel tot beenvorming prikkelen, waarom verbeenen dan niet pezen, aponeurosen, fasciën en ligamenten; waarom verbeent niet ook b.v. de linea alba door de trekspanningen welke de intraäbdomineele druk daarin opwekt?

Blijkbaar het oog sluitend voor deze toch opvallende feiten, schrijft ook QUANT „dat rekking den formatieven prikkel vormt voor de ossificatie" [2]) van bindweefsel. Hij

1) R. THOMA, l. c. blz. 358.

2) C. A. J. QUANT, Over tri-bounocephalie benevens eene poging om het ontstaan van het schedeldak uit bindweefsel langs mechanischen weg te verklaren. Diss. Leiden 1916, blz. 52 en 53.

meent dat de rekspanningen worden opgewekt door den groei.

Rekking zou de verbeening bewerken van het schedeldak zoowel als van het periost der overige beenderen [1]). In het periost zou de rekking worden teweeggebracht door den lengtegroei der beenderen en door spierwerking [2]); in het schedeldak door den groei der hersenen: „Het schedeldak vormt zich totaal passief (wij spatiëeren) onder den invloed van de spanningen in de vliezige hersenkapsel, die het gevolg zijn van den groei der hersenen" [3]).

Behalve de hypothese dat trekspanningen het bindweefsel doen verbeenen, vinden wij hier dus een tweede hypothese, n.l. dat in het schedeldak en het periost die trekspanningen worden geleverd door den groei.

Ware dit juist, dan zou de intracraniëele druk bij kinderen grooter moeten zijn dan bij volwassenen, en zou het beenvlies na insnijding een gapen der snede moeten vertoonen bij kinderen, niet bij volwassenen. De hersendruk wordt echter regelmatig lager gevonden bij kinderen dan bij volwassenen [4]) (de druk van het cerebrospinaalvocht zou van 7 mM. kwik in het eerste levensjaar tot 15 mM. bij den vollen wasdom stijgen [5])) en het gapen eener periostinsnijding wordt bij kinderen evenmin gezien als bij volwassenen. Wij mogen dus niet aannemen dat de groei rekking teweegbrengt in het schedeldak en in het beenvlies der overige beenderen.

Indien wij nochtans de beide hypothesen zouden aannemen, d. i. 1°. dat de groei rekking teweegbrengt in het schedeldak en in het beenvlies der overige beenderen, en 2°. dat die rekking verbeening bewerkt van het schedeldak en het beenvlies der overige beenderen, dan zouden wij moeten verwachten dat aan het einde van den groei, d. i. bij het wegvallen van de rekking — en daarmee van „den formatieven prikkel voor ossificatie" — schedeldak en periostaal been zouden atrophiëeren resp. tot den bindweefseltoestand terugkeeren — wat wij wel niet waarnemen.

Indien wij — in weerwil van bovenstaande feiten — mochten aannemen dat groei rekking in het schedeldak opwekt, dan geldt tegen de aanname dat rekking het bindweefselig

1) Id. blz. 63, 64 l. c.

2) „ „ 64 l. c.

3) „ „ 63 l. c.

4) Krause, Chirurgie des Gehirns und des Rückenmarks.

5) Thoma, Untersuchungen über das Schädelwachstum und seine Störungen. Virchow's Archiv Bd. 224, H. I. blz. 79.

schedeldak tot verbeening brengt, ook hier het bezwaar dat de dura mater onder dezelfde mechanische verhoudingen bindweefsel blijft. En, meer algemeen: tegen de voorstelling dat bindweefsel door trek in been zou worden omgezet, verzet zich het feit dat in in ons lichaam de bindweefsels, hoewel op trek beproefd, zich levenslang en door de geslachten heen als bindweefsel handhaven.[1])

Het ontstaan van het schedeldak zoowel als van producten der kieuwbogen en andere beenderen zal in Hoofdstuk V, blz. 86 en Hoofdstuk VI, blz. 93 en 94 nog nader ter sprake komen.

Vatten wij den inhoud der hoofdstukken II A en B samen, dan blijkt dat op onvoldoende gronden aan trekspanningen een trophische prikkel op beenweefsel is toegekend. Zoowel langs de convexzijdige elementen van het bovenste dijbeeneinde, als de voorachterwaartsche banen van het hielbeen, de dwarse elementen der spongiosa en de gebogen verloopende elementen van ankylotische knieën, bleef men in gebreke rekening te houden met het feit dat ook drukspanningen tijdens het leven daarin werden opgewekt, welke de vorming van die elementen kunnen hebben bewerkt. Een parallelisme, dat tusschen de dikte der beenelementen en de sterkte der **druk**spanningen blijkt te bestaan, heeft men voor **trek**spanningen nergens aangetoond. Culmann-Meyer's hypothese dat trekspanningen beenvorming in het bovenste dijbeeneinde bewerken, heeft men eenvoudig op de overige kraakbeenbeenderen en op de bindweefselbeenderen overgeplant zonder bewijs. In het feit dat mechanische krachten invloed toonden op de vorming van been-

1) Nog andere bezwaren tegen Q.'s beschouwingen, die wij evenals bovenstaande reeds op een vergadering van den Geneeskundigen Kring te Leiden hebben ontwikkeld, zijn hier, als niet in 't betoog passend, weggelaten.

weefsel, zag men bovendien grond alle beenvorming van mechanische krachten afhankelijk te stellen. En waar drukspanningen ontbraken of onvoldoende schenen, daar nam men — desnoods problematische — trekspanningen aan (blz. 29), om den overgang van bindweefsel in beenweefsel te bewerken, zonder dat men zich stoorde aan de dagelijksche ervaring dat alle bindweefsel dat aan trek onderworpen wordt, levenslang en de geslachten door, bindweefsel blijft.

De hardnekkigheid waarmee de leer over beenvorming door trek zich aldus in de literatuur heeft geworteld, kan slechts verklaard worden door de aantrekkelijkheid der voorstelling van den trajectoriëelen bouw der beenderen die haar deed ontstaan. In de aantrekkelijkheid eener voorstelling ligt echter geen maatstaf voor haar juistheid. De feiten moeten hier uitspraak doen. Die zullen wij nog nader leeren kennen in de beide volgende hoofdstukken, waaruit moge blijken dat in verbogen beenderen het beenweefsel verdwijnt en aan normale beenderen het beenweefsel ontbreekt daar waar slechts trekspanningen worden opgewekt. En zoo zullen de feiten de dualistische leer doen vallen volgens welke beide druk en trek tot beenvorming leiden, en haar doen vervangen door de monistische voorstelling dat alleen aan druk een trophische invloed op beenweefsel is toebedeeld.

HOOFDSTUK III.

TREK GEEN TROPHISCHE PRIKKEL VOOR DE SPONGIOSA.

A. In vervormde Beenderen.

Fig. 21 is de photographische afbeelding van den top- of wigwervel eener rechtsconvexe dorsale skoliose. De figuur geeft dus haar bovenzijde weer. Uit onderzoekingen van ALBERT[1]), RIEDINGER[2]) en anderen weten wij dat de lijn welke de middens van boog en lichaam van zulk een wervel verbindt, gebogen verloopt met de convexiteit gericht naar de concave zijde van de skoliotische kromming, op de wijze die in de figuur is aangegeven. De wervel is dus in 't vlak der afbeelding verbogen, zijn mediane vlak is naar links convex geworden, wat door de sterke verbreeding der linker helft van zijn lichaam gedeeltelijk gemaskeerd wordt. Wij herinneren er aan dat deze verbuiging van den wervel een deel uitmaakt van de verschijnselen die in de skoliotische wervelkolom onder het begrip „torsie" worden saamgevat, en welke zich daardoor kenmerken dat de wervellichamen steeds verder dan de bogen naar de convexe zijde der skoliose afwijken.

---

1) E. ALBERT, Der Mechanismus der skoliotischen Wirbelsäule. — HOLDER, Wien 1899.

2) Vgl. W. SCHULTHESS, Joachimsthal's Handbuch. 1 Bd. S. 670.

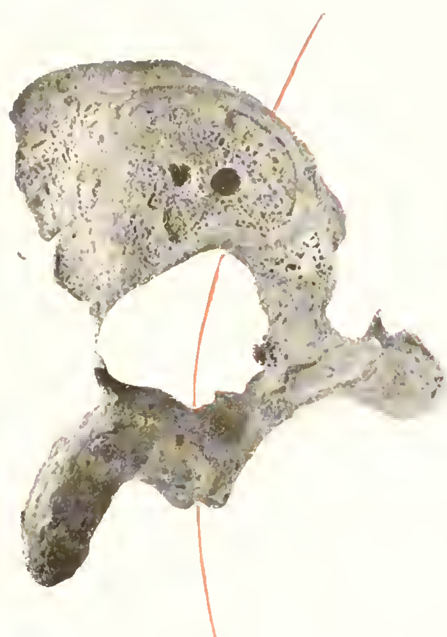


Fig. 21

Welke krachten deze torsieverschijnselen teweegbrengen, kan hier onbesproken blijven. 't Is thans voldoende vast te stellen dat zekere — hier dus niet nader te definiëeren — krachten den borstwervel van Fig. 21 in zijn mediane vlak hebben verbogen, zoodat waarschijnlijk mag worden geacht dat in de linkerhelft welvellichaam en -boog er naar streefden zich van elkaar te verwijderen, in de rechterhelft daarentegen trachtten elkaar te naderen; dat de druk die normaliter in voor-achterwaartsche richting op den linker boogwortel inwerkt, dus werd verminderd, resp. in trek omgezet, en in den rechter boogwortel verhoogd. Wij zien dat inderdaad het midden van 't wervellichaam verder verwijderd is van 't linker dwarsuitsteeksel en het gewrichtsvlak aan zijn basis dan van het rechter, hoewel de verbreeding van de linker lichaamshelft — waarop wij reeds wezen — dit gedeeltelijk maskeert. De linker wervelhelft is m. a. w. in de richting van het vlak der afbeelding verlengd ten opzichte van de rechterhelft. Ingeklemd tusschen de aangrenzende wervellichamen, is het wigvormig lichaam van dezen topwervel gedrukt naar rechts, terwijl de frontaal geplaatste gewrichtsuitsteeksels van de aangrenzende onder en boven gelegen wervelbogen, geholpen wel ook door banden en spieren, de boog verhinderden zich in gelijke richting te verplaatsen. Een trillende beweging, gelijk die bij de knieankylose moest worden aangenomen, waarbij de stootswijze inwerkende druk met trek afwisselt en omgekeerd, zoodat in een op trekspanningen beproefd gebied periodiek ook drukspanningen worden opgewekt, is hier door die inklemming zeker bemoeilijkt, indien niet onmogelijk gemaakt en in ieder geval gering wegens de geringe massa der trillende deelen. Doch hoe dit zij, wij zien hier den boogwortel der (naar alle waarschijnlijkheid) meer gedrukte rechterzijde verdikt, dien der gerekte linkerzijde daarentegen niet alleen verdund, maar zelfs onderbroken,

zoodat kan worden vastgesteld dat door dit hiaat geen noemenswaarde druk kan zijn voortgeplant.

Men zou kunnen meenen dat in den linker boogwortel de drukspanningen juist tot o zijn gedaald, zonder nog in trekspanningen te zijn overgegaan, dat de atrophie van dit deel eenvoudig het gevolg is van 't ontbreken van eenige spanning: drukkende zoowel als trekkende; dat de trekspanning eerst bij een iets sterker verkromming van het mediane vlak in den linker boogwortel zou zijn opgetreden. Zij die aan trekspanningen een trophischen invloed op been toekennen, zouden dus kunnen aannemen dat eerst bij zulk eene sterkere verkromming van den wervel de verdikking van den linker boogwortel zou optreden. Ware dit juist, dan moest soms de top- of wigwervel eener dorsaalskoliose een verdikking vertoonen van den boogwortel welke aan de convexe zijde van den wervel, d. i. de concave zijde van de skoliose, gelegen is. De ervaring leert echter dat *de verdunning van den boogwortel aan de convexe zijde van den topwervel* (d. i. aan de concave zijde der skoliose) *een constant* en reeds lang bekend *verschijnsel der dorsale skoliose* is. Zij is geringer in de wervels die verder van den top der kromming afgelegen zijn, zoodat bij de meervoudige skoliosen in de scheeve wervels — d. i. dus in den op de ontmoetingsplaats van twee (tegengesteld gerichte) skoliotische krommingen gelegen wervel — de beide boogwortels ongeveer gelijk van dikte zijn.

Voor de boogwortels der lendenwervels geldt de bovenstaande regel — de verdunning van den aan de concave zijde der skoliose gelegen boogwortel — niet [1]), en men zou kunnen meenen dat hierdoor de beteekenis van dit verschijnsel aan de dorsale wervels werd verminderd. Daarom merken wij op dat in 't lendengedeelte der wervelkolom

1) Vgl. Joachimsthal's Handbuch, W. Schulthess. S. 668.

andere mechanische verhoudingen voor de boogwortels bestaan. Zoo zijn daar de gewrichtsvlakten der wervelbogen sagittaal — in plaats van frontaal — gericht. En wanneer in den laatsten lendenwervel de concaafzijdige boogwortel dikker is dan normaal [1]), bedenke men dat deze boogwortel in de rechtop staande wervelkolom een bijna vertikale richting heeft [2]), geschikt om in verband met de daar bestaande lordose een deel van het lichaamsgewicht op het sacrum over te brengen [2]). Het is hier echter niet het doel mechanische verhoudingen der boogwortels in de verschillende deelen der skoliotische wervelkolom te bespreken. Wij mogen volstaan met er op te wijzen dat de verschillen tusschen de boogwortels in de borst- en de lendenwervels van de skoliotische wervelkolom met verschillen in de mechanische krachten waaraan zij zijn blootgesteld, samengaan.

Niet alleen het verschijnsel der verdunning van den linker boogwortel in Fig. 21 op zichzelf, maar ook de constantie van dit verschijnsel aan de convexe zijde van elken in 't mediane vlak verbogen dorsalen wervel, pleit dus tegen de aanname dat trek een voedenden invloed op beenweefsel zou doen gelden, althans in verbogen beenderen. Het parallelisme tot de erkenning waarvan wij in dit, als in andere gevallen, gedrongen worden, tusschen de dikte der beenelementen — in casu de dikte der boogwortels — en de grootte der drukspanningen welke in hen worden opgewekt, ontbreekt ten eenenmale tusschen de grootte der trekspanningen en de dikte der beenelementen. In plaats van een **gelijkheid** in den invloed van druk en trek, leeren wij in de verbogen wervels — gelijk in den verbogen dijbeenhals (zie Fig. 3 en 4) — een **tegenstelling** kennen in 't gedrag van het beenweefsel tegen-

1) Ibid. S. 678 en Fig. 472 a—d.
2) Ibid. S. 495 en 496.

over **druk** en **trek**, een tegenstelling die wij in 't navolgende nog aan andere verbogen zoowel als onverbogen, normale beenderen zullen waarnemen.

Terloops merken wij op dat de verbreeding welke het wervellichaam in Fig. 21 aan zijn linkerzijde, d. i. aan de concave zijde der skoliose, vertoont, geenszins met het vorenstaande in strijd is. In dat gebied heeft de druk van het lichaamsgewicht zich kunnen doen gelden in axiale richting, zoodat bij de ontwikkeling van dat beenweefsel deze druk loodrecht op het vlak der afbeelding een rol heeft kunnen spelen, en de trek in het vlak der afbeelding dus niet aansprakelijk behoeft te worden gesteld [1]).

Volkomen in overeenstemming met de afzonderlijke wervels gedraagt zich de wervelkolom in haar geheel, wanneer zij verbogen wordt. Ook daarin treffen wij aan de convexe zijde der verkromming verdunning en rarefactie der beenelementen, wanneer de verbuiging zoo sterk is dat wij worden genoopt aan te nemen dat de drukspanningen van de norm, althans in de staande houding, in trekspanningen zijn omgezet:

Fig. 22 is een skoliotische wervelkolom zoodanig doorgezaagd dat in het borstgedeelte zooveel mogelijk symmetrische deelen der wervels en der dwarsuitsteeksels zijn getroffen. Daartoe moesten de zaagsneden door verschillende vlakken worden gelegd, wat aan de schaduw aan de concave zijde der dorsale kromming zichtbaar is. Daar deze schaduw in de afbeelding een vergelijking van de dichtheid van het beenweefsel der concave met die der convexe zijde moeielijk maakte, hebben wij hetzelfde praeparaat een tweede maal gephotographeerd; doch zóó dat het tegelijk met het photographisch apparaat voor de lichtbron ronddraaide, waardoor convex- en concaafzijdige deelen een gelijke hoeveelheid licht opvingen, en dus de

1) In hoeverre bij deze verbreeding van het wervellichaam (aan de concave zijde der skoliose) rekking een aandeel kan hebben (vgl. blz. 13), moge hier onbeslist blijven.



Fig. 22



Fig. 23

schaduw wegviel[1]). Zoodoende is verkregen Fig. 23. Men merke op de verdichting der spongiosa in de concaafzijdige processus articulares der beide krommingen. Deze uitsteeksels hebben grootendeels den druk van 't lichaamsgewicht overgenomen van de wervellichamen welke zich langs hen slingeren, telkens de convexe zijde der krommingen volgend. Van de verdichte concave zijde in dwarse richting gaande naar de convexe, ziet men overal de dichtheid van het beenweefsel afnemen. Hier is dus weer het bekende parallelisme tusschen de grootte van den druk en de dikte der beenelementen. En indien aan de convexe zijde der beide krommingen de drukspanningen over 't nulpunt heen in trekspanningen zijn overgegaan, dan zijn deze in gebreke gebleven voor beenaanmaak zorg te dragen.

De zeer atrophische wervelkolom van Fig. 24 vertoonde diezelfde typische slingering harer wervellichamen ten opzichte van de dwarse uitsteeksels. Deze blijkt echter in de afbeelding niet. Ook hier is de atrophie der convexe zijde duidelijk ten opzichte van de concave, met name aan de bovenste kromming. Indien wij mogen aannemen dat deze wervelkolom tijdens het leven denzelfden vorm had, maakt de dalende richting van het boveneinde de inwerking van trekspanningen aan de convexe zijde — ook tijdens het leven —, althans in de staande houding, heel waarschijnlijk. Of de lager gelegen wervellichamen, die de onderste kromming vormen, onder invloed van trekspanningen zoowel een rekking als een atrophie hebben ondergaan, moeten wij onbeslist laten.

Samenvattend zien wij in de convexe zijde van verbogen beenderen en wervelkolommen

---

1) Dit is verricht door den Directeur van 't Herbarium, dr. J. W. C. GOETHART, Lector in de Botanie aan de Universiteit te Leiden, die dezen toestel voor de nauwkeurige reproductie van bladnerven heeft uitgedacht en ons met de toepassing voor bovenstaand doel een grooten dienst heeft bewezen.

een verdunning en rarefactie der beenelementen daar waar op goede gronden mag aangenomen worden, dat tijdens het leven de drukspanningen zijn verminderd resp. door trekspanningen vervangen. Dit geldt voor den boogwortel in de convexe zijde van den topwervel der dorsale skoliose (Fig. 21) en voor de convexe zijde der skoliotische wervelkolom in haar geheel (Fig. 23 en 24), zoowel als voor de convexzijdige elementen in den dijbeenhals bij coxa vara (Fig. 3 en 4), die wij in 't eerste hoofdstuk leerden kennen. Een parallelisme dat wij tusschen drukspanningen en de dikte der beenelementen allerwege aantroffen, zien wij dus voor trekspanningen, althans in verbogen beenderen, ontbreken.

Geheel verschillend van de gebogen knieankylose, waar in de convexe zijde regelmatig krachtige beenbanen verloopen, zien wij die in wervels van skoliotische wervelkolommen en coxae varae ontbreken. En dit verschil is begrijpelijk. Immers, de trillende beweging waarbij de trekkende krachten periodiek met drukkende afwisselen, is groot bij de knieankylosen, daarentegen klein bij de wervels evenals bij de coxa vara: de massa der wervels is klein evenals van den dijbeenhals, en de tusschenwervelschijven werken als een stootkussen dat den veerenden druk klein houdt, zelfs wanneer — als in 't geval van Fig. 22 en 23 — een paar der wervels in hun processus articulares een stevige verbinding hebben aangegaan. En juist om deze reden zijn eenerzijds de verbogen wervelkolom en de verbogen dijbeenhals geschikte voorwerpen om den invloed van een afname der drukspanningen resp. een overgang in trekspanningen aan de convexe zijde der kromming te bestudeeren, terwijl anderzijds de ankylotische knie een materiaal vormt geschikt om den beginnenden onderzoeker op een dwaalspoor te leiden.

Men zou echter nog kunnen meenen dat het verschil



Fig. 24

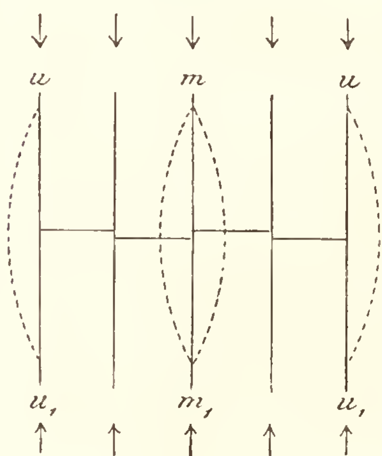
in gedrag tusschen de ankylotische knieën eener- en wervels van skoliotische wervelkolommen en de coxa vara anderzijds afhankelijk kon zijn van een verschil in toestand van het beenweefsel. De verbogen wervelkolom toch zou men kunnen beschouwen als uit ziek beenweefsel opgebouwd, getroffen door „rachitis" of „Engelsche ziekte", en zelfs de ankylotische knie waaruit de ziekmakende agentia zijn verdwenen, zal niet onbetwist als normaal beenweefsel kunnen worden opgevat. Eigenlijk hebben wij dus in 't bovenstaande slechts aangetoond dat in abnormale beenderen trek niet in staat is, eenmaal gevormd beenweefsel te onderhouden. Tegenover het voordeel voor de studie der beenvorming dat de verbogen en vervormde beenderen een vergelijking met den normalen bouw toelaten, staat dus het nadeel dat wat aldus omtrent abnormale beenderen wordt gevonden, niet zonder meer op normale beenderen kan worden toegepast. Daarom zullen wij in 't navolgende ook in normale beenderen nagaan of trekspanningen in staat zijn been tot ontwikkeling te doen geraken. Wij willen daartoe normale beenderen onderling vergelijken, waarin met verschillen in de trekspanningen welke er in worden opgewekt, verschillen in bouw evenwijdig verloopen. Normale wervellichamen zullen daartoe om redenen die later duidelijk worden, het geschikte materiaal leveren.

B. In normale Beenderen.

De spongiosa der (normale) wervellichamen bestaat — gelijk bekend — in hoofdzaak uit vertikaal (of axiaal) gerichte elementen welke van 't eene werveleindvlak naar het andere verloopen en onderling op vele plaatsen, deels door fijne dwars en schuin verloopende balkjes deels ook door breedere elementen, samenhangen (zie Fig. 26[B]). Het

is duidelijk dat de vertikale elementen tijdens het leven den druk van spier- en zwaartekracht dragen, terwijl de hen verbindende elementen daarbij hun verbuiging beperken of voorkomen, gelijk reeds op blz. 8 besproken is. Heel schematisch geeft Fig. 25 die verhouding weer. Wij wezen er reeds op (vgl. Fig. 11) dat een middelste balkje $m m_1$ (zie Fig. 25), dat aan beide zijden door dwarse balkjes gesteund wordt, bij belasting in de richting der pijltjes in 't algemeen even vaak naar links als naar rechts zal uitbuigen en dus afwisselend de dwarse elementen zal drukken en trekken. De buitenste balkjes $u u_1$ daarentegen (Fig. 25), die naar buiten geen weerstand ondervinden, zullen in 't algemeen vaker naar buiten uitbuigen, en daarbij trekken aan de dwarse elementen die hen met de meer naar 't midden gelegen vertikale elementen verbinden. In een wervellichaam dat geheel is opgebouwd volgens het schema van Fig. 25, neigen dus bij druk op de werveleindvlakken in de richting der pijltjes de vertikale elementen in de peripherie er toe uit te buigen als de duigen van een ton, en daarbij trekspanningen op te wekken zoowel in de dwarse elementen welke hen met de meer centraal gelegen vertikale elementen als door die welke hen onderling verbinden. Indien dus inderdaad trekspanningen vormend op been werken, zou het vertikale grensvlak, het zijvlak, der wervellichamen dat de beide evenwijdige eindvlakken verbindt, den vorm kunnen hebben van een cilindermantel, of zelfs, in zijn midden uitbochtend, een tonvorm kunnen nabootsen. In dit laatste geval zouden de dwarse elementen der peripherie bij belasting uitsluitend op trek worden beproefd. Bij een ton-

Fig. 25.



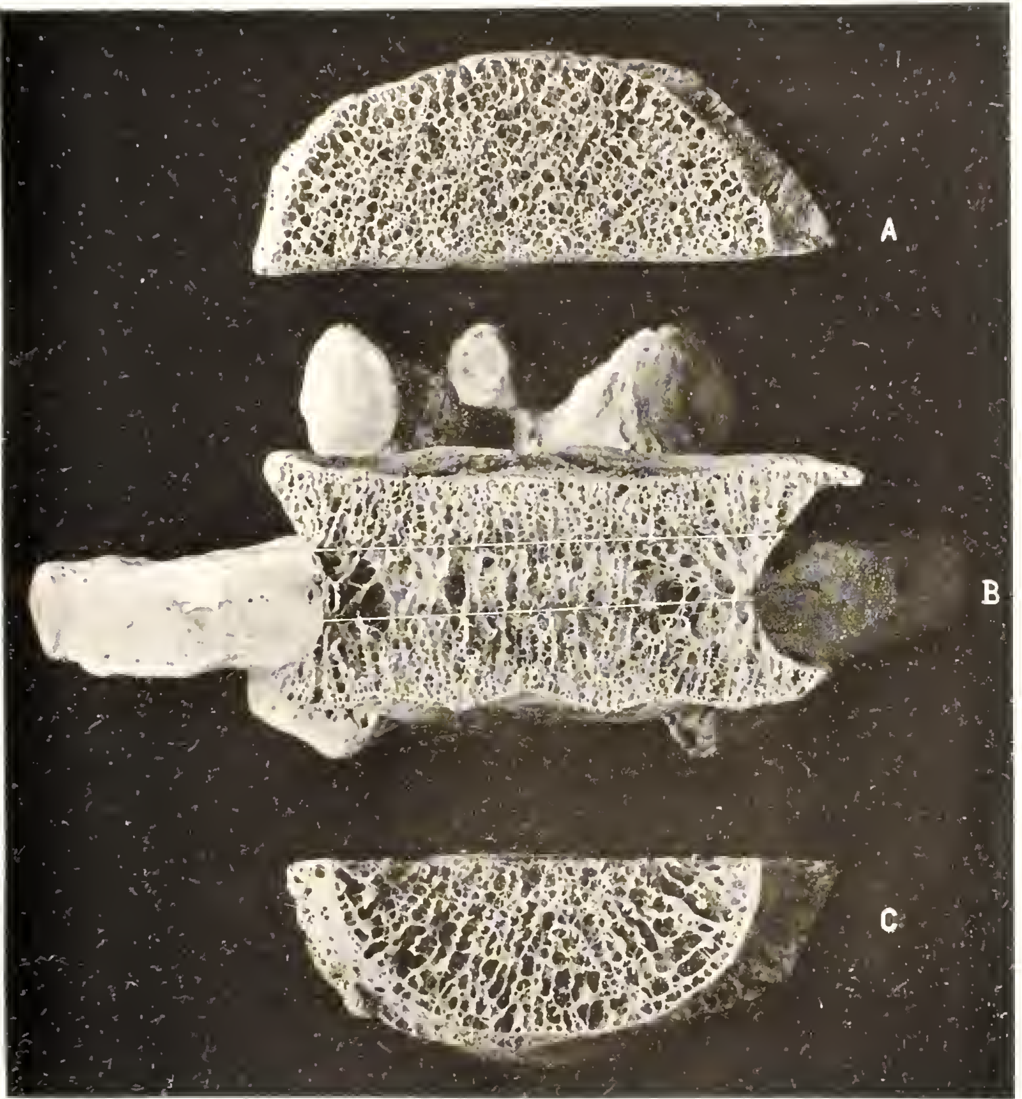


Fig. 26

vorm der wervellichamen zou dus in de peripherie dier lichamen een spongiosa voorhanden zijn in den zin van MEYER, WOLFF, ROUX en hun navolgers, waarin de belasting door spier- en zwaartekracht één systeem (het verticale) op druk en een tweede (loodrecht daarop) op trek zou beproeven. Den tonvorm nemen de wervellichamen echter nimmer aan. Integendeel hun zijvlak vertoont regelmatig een uitholling, zoodat druk op de eindvlakken de elementen der peripherie doet neigen tot een verdere doorbuiging naar binnen, centraalwaarts, en dus tot het overbrengen van druk naar het centrum (zie Fig. 26[B]). Bij vooroverbuigen van den romp gaat deze druk van de vóórzijde der wervellichamen in vóórachterwaartsche richting naar het centrum, bij zijwaartsche beweging gaat hij in zijdelingsche richting, eveneens naar het midden, kortom, bij elke buiging der wervelkolom verloopt een druk in radiaire richting door de wervellichamen. Dat deze radiair gerichte krachten van de peripherie naar het centrum niet alle evenwijdig aan de werveleindvlakken verloopen, behoeft geen betoog. 't Is nu wel waarschijnlijk in verband met deze radiaire krachten dat de dwarse elementen, in het midden der hoogte van de wervellichamen (Fig. 26[C]), duidelijker dan meer nabij de eindvlakken (Fig. 26[A]), een radiair verloop vertoonen en min of meer het karakter van plaatjes aannemen (vgl. Hoofdstuk IV B), en dat ook de banen welke in Fig. 26[B] van de wervelzijvlakken naar de boven- en ondervlakte divergeerend verloopen, als produkten van schuin naar binnen gerichten druk mogen opgevat worden. In de wervellichamen schijnen dus behalve de verticale, ook de dwarse en schuine elementen op druk beproefd en schijnt zelfs — gelijk overal bij ons onderzoek — een parallelisme te bestaan tusschen de ontwikkeling dier beenelementen

en den inwerkenden druk. Rondom de concave zijvlakte van het wervellichaam daarentegen, d. i. daar waar de vertikale elementen op druk en de dwarse elementen op trek zouden worden beproefd, zien wij zoowel deze dwarse als de overlangsche elementen, d. i. het beenweefsel in zijn geheel, ontbreken. M. a. w. daar waar de dwarse elementen den trophischen prikkel van den druk zouden missen, en slechts op trek worden beproefd, blijken niet alleen zij afwezig, doch ontbreken ook de vertikale elementen. In de uitholling van de zijvlakte der wervellichamen zien wij dus een aanwijzing dat de spongiosa voor haar bestaan drukspanningen behoeft in de dwarse elementen zoowel als in de vertikale. Bij het optreden van trek en het ontbreken van druk in de dwarse richtingen toch blijken niet alleen de beenelementen in die richting te ontbreken; doch zelfs de overige, welker samenhang zij zouden moeten verzekeren.

Men zou kunnen meenen dat deze gevolgtrekking onvoldoende gerechtvaardigd is, omdat zij aan een enkelen wervel is ontleend. Vergelijkt men echter de zijvlakte van verschillende wervels uit eenzelfde wervelkolom zoowel als die aan de wervelkolom van verschillende dieren, dan blijkt dat de uitholling van de zijvlakte der wervellichamen steeds dieper is naarmate de onderlinge beweeglijkheid der wervels grooter is.

Fig. 27—30 geven de wervelkolom weer achtereenvolgens van een rhinoceros, een kafferbuffel, oreas oreas en antilope algazella, waarin door wegname van eenige ribben de voorste begrenzing der wervellichamen tegen een zwarten achtergrond zichtbaar gemaakt is. Ieder weet dat van den dikhuidigen rhinoceros, langs den kafferbuffel naar de vlugge antilope de onderlinge beweeglijkheid der wervellichamen toeneemt. En, mag de regelmatige afname

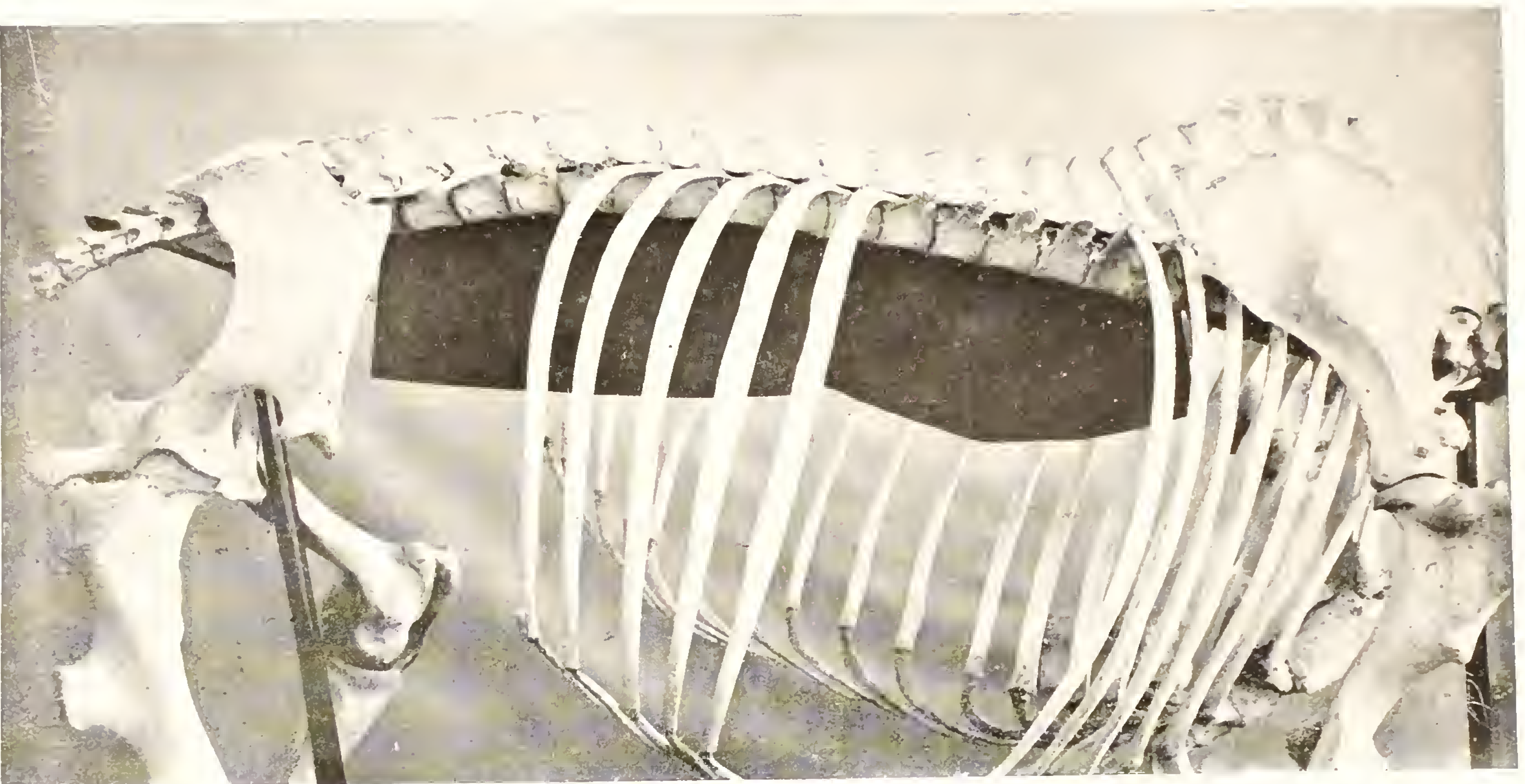


Fig. 27

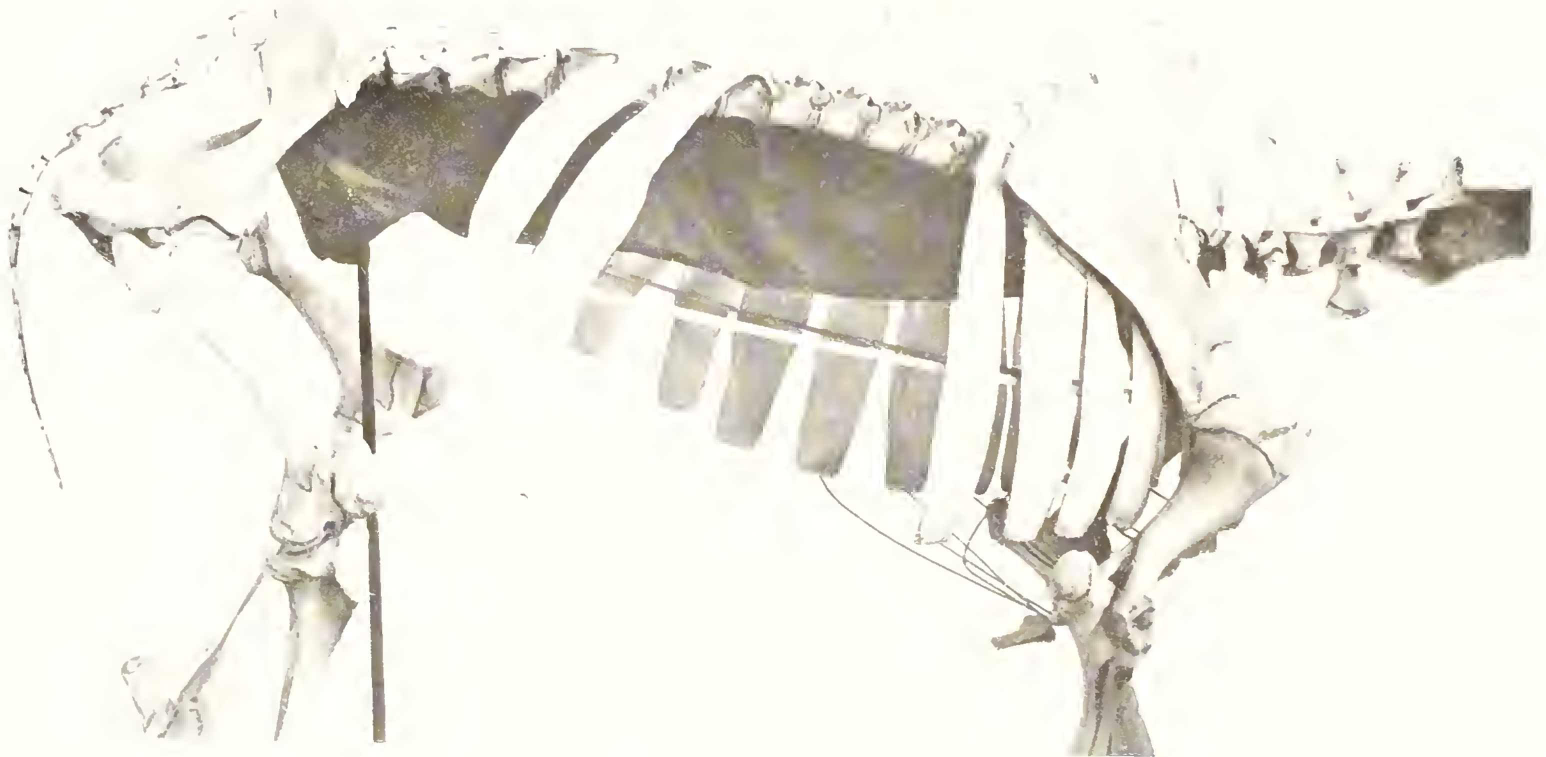


Fig. 28



Fig. 29

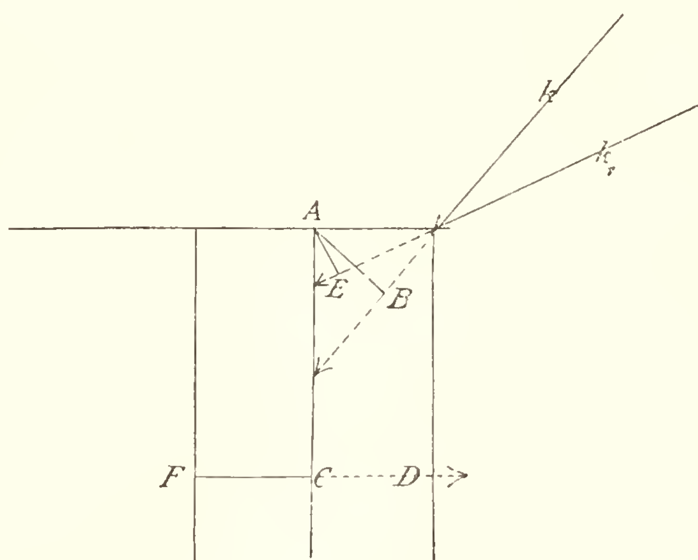


Fig. 30

van de breedte der doornuitsteeksels, d. i. de toename van den afstand tusschen de doornuitsteeksels, in deze volgorde als uitdrukking dier toenemende beweeglijkheid in dorsaalconcave richting gelden, parallel met deze beweeglijkheid zien wij ook de concaviteit van de voorste begrenzing der wervellichamen toenemen. Bij de drie laatste dieren (Fig. 28—30) is — evenals de beweeglijkheid — ook de uitholling der lendenwervels grooter dan die der borstwervels, terwijl daarentegen bij den rhinoceros (Fig. 27), waar de dikke huid zeker ook de bewegingen van de lendenwervelkolom beperkt, dit verschil onduidelijk is. Een eenvoudige redeneering zal nu leeren dat met de toename der beweeglijkheid van de wervellichamen een afname gepaard gaat van de drukspanningen welke in de dwarse elementen in de peripherie hunner spongiosa worden opgewekt.

Het behoeft wel geen betoog dat, naarmate de beweeglijkheid der wervelkolom — d. i. de onderlinge beweeglijkheid der wervels — grooter is, de resultante der krachten ten welke op den rand der wervellichamen inwerken, gemiddeld genomen schuiner gericht is, d.i. meer van de wervelas afwijkt. Indien dus Fig. 31 een deel der bovenhelft van een (schematisch) wervellichaam voorstelt, en mag worden aangenomen dat de krachten die op den rand van de wervellichamen inwerken, door balkjes worden voortgeleid naar meer

Fig. 31.



centraalwaarts gelegen axiale elementen, waarvan gemakshalve slechts een gedeelte $A\ C$ wordt beschouwd als ware het een draaiende staaf, dan is het moment van k op $A\ C$ $k \times A\ B$. Evenwicht zal nu intreden, zoodra in een dwarsbalkje $F\ C$ een spanning D ontstaat waarvan 't moment gelijk is aan het moment van k, dus $D \times A\ C = k \times A\ B$. Wanneer in plaats van k een kracht k_1 optreedt, zal dus een andere spanning D_1 in het dwarsbalkje moeten optreden, en dan zal $D_1 \times A\ C = k_1 \times A\ E$ zijn.

In 't eerste geval is $D = \frac{k \times A\ B}{A\ C}$ en in 't tweede geval $D_1 = \frac{k_1 \times AE}{AC}$. Indien nu $k = k_1$ is, en $AB > AE$ dan is ook $D > D_1$.

D e d r u k spanningen w e l k e i n d e d w a r s e e l e m e n t e n v a n d e p e r i p h e r i e d e r w e r v e l l i c h a m e n n o o d i g z i j n o m e v e n w i c h t t e m a k e n m e t d e k r a c h t e n w e l k e o p d e n r a n d d e r w e r v e l l i c h a m e n i n w e r k e n, z i j n d u s k l e i n e r n a a r m a t e d e z e l a a t s t e s c h u i n e r g e r i c h t z i j n.

Wij zagen reeds dat in een schematisch, cilindervormig wervellichaam de vertikale (axiale) beenelementen in de peripherie in 't algemeen bij belasting meer neiging hebben naar buiten uit te buigen — als de duigen van een ton — dan naar binnen, d. i. trek meer dan druk uit te oefenen op de dwarse elementen die hen onderling en met de meer centraal gelegen axiale elementen verbinden. Thans zien wij dat n a a r m a t e d e k r a c h t e n s c h u i n e r i n w e r k e n, d i e d r u k o p d e d w a r s e e l e m e n t e n n o g a f n e e m t, e n d i t m a g d e o o r z a a k z i j n d a t z i j m i n d e r g e h a n d h a a f d b l i j v e n n a a r m a t e d e o n d e r l i n g e b e w e e g l i j k h e i d d e r w e r v e l s t o e n e e m t.

Bedenkt men bovendien dat op een balkje dat tweemaal zoo dicht bij A gelegen is als $F\ C$, een tweemaal

zoo groote kracht (D resp. D_1) moet aangrijpen om evenwicht met $k \times AB$ resp. $k_1 \times AE$ te houden, dan wordt duidelijk dat de druk door de schuin gerichte krachten in de dwarse elementen der spongiosa opgewekt grooter is naarmate de dwarse elementen dichter bij de eindvlakken liggen, kleiner naarmate zij nader bij het midden van de hoogte (of dikte) der wervellichamen gelegen zijn. Ook in dit opzicht dus vertoont de uitgeholde vorm van de zijvlakken der wervellichamen een parallelisme met de mate der drukkende krachten. Daar waar in de dwarse elementen de druk 't kleinst is, ontbreken zij 't meest. Wij zien dus in de verschillende mate der uitholling van de wervellichamen bij mensch en dier de uitdrukking van het feit dat spongiosaelementen verdwijnen resp. ontbreken daar waar drukspanningen verminderen resp. opgeheven worden, een parallelisme dus met drukspanningen.

Het valt niet moeilijk ook in de wervels van andere dieren van dit parallelisme voorbeelden te vinden. Wij hebben het waargenomen bij te water levende zoogdieren zoowel als in den „amphicoelen" vorm der wervels van slangen, bij welke laatste dus de sterke zijdelingsche krommingen der wervelkolom bij de voortbeweging de sterke zijdelingsche uithollingen schijnen te bepalen. En het meest leerrijke bij dit alles is wel dat met de dwarse elementen ook de vertikale elementen verdwijnen gelijk die in het midden der wervellichamen voorkomen, zoodat het bestaan van de vertikale elementen der spongiosa, althans in de wervellichamen, aan de inwerking van druk ook op de dwarse elementen gebonden schijnt.

Men zou nog kunnen meenen dat door de trillende beweging, waaraan in de vorming der convexzijdige banen van de ankylotische knie (zie Fig 16–20 en bl. 22 en 23) een aan-

deel niet kon worden ontzegd, ook drukspanningen konden worden opgewekt in de dwarse elementen der wervelspongiosa, telkens nadat deze door den belastingsdruk op trek waren beproefd, en plotseling die druk werd opgeheven. Inderdaad kan zulk een veerende werking en daarmee de inwerking van druk op die dwarse spongiosa-elementen niet worden ontkend. Echter geldt ook hier meer nog dan b.v. voor de coxa vara, dat de trillende massa — enkele vertikale beenspangen — klein is, en daarmee dus ook de druk die door hen kan worden opgewekt. Het behoeft dus geenszins te verwonderen dat deze veerende druk in gebreke blijft de dwarse beenelementen der spongiosa in de peripherie der wervellichamen te handhaven.

Wij zien dus in de wervellichamen van den mensch (en zelfs van zoogdieren en slangen) niet alleen de dwarse elementen der spongiosa, welke aan de richtingen van trek zouden moeten beantwoorden, ontbreken; doch daarenboven ook de vertikale elementen welke zij zouden moeten verbinden. Trek mist dus het vermogen tot beenvorming in de menschelijke wervellichamen, in de normale zoowel als in de vervormde en verbogene, het vermogen dat druk allerwege toont te bezitten.

Overzien wij thans wat het vorenstaand onderzoek ons omtrent den invloed van trek op de vorming van beenweefsel heeft geleerd, dan vinden wij zonder uitzondering een tegenstelling tusschen de werking van trek en die van druk in alle beenderen die wij daarop onderzochten: De dijbeenhals toonde bij doorbuiging tot coxa vara tegenover verdikking aan de concave zijde, waar drukspanningen toenamen, atrophie en rarefactie aan de convexe zijde,

waar (drukspanningen af- en) trekspanningen toenamen. (Vgl. Fig. 3, 4, 5 met Fig. 1). In knie- zoowel als in elleboogankylosen (Fig. 34), waar langs banen van duidelijken druk zich de beenelementen regelmatig vormen, ontbreken de elementen van trek, die van de concave zijde gebogen langs de convexe zijde en weer terug naar de concave zijde verloopen. (Vgl. Fig. 13, 16, 17 18, 19, 20 met Fig. 15). En in de normale wervellichamen van mensch en dier zien wij zelfs de vertikale spongiosaelementen ontbreken daar waar de dwarse elementen uitsluitend op trek zouden worden beproefd. Kortom, de tegenstelling tusschen trek en druk op de vorming van beenweefsel blijkt niet beperkt tot de normale wervellichamen van mensch en dier, verbogen wervels en de verbogen wervelkolom; doch zij doet zich ook kennen in dij- en scheenbeen, in opperarmbeen en ellepijp. De verdikking der beenelementen bij toename van druk, de verdunning, resp. het verdwijnen bij afname, resp. verdwijnen van drukspanning, kortom het parallelisme, dat wij allerwege aantreffen, tusschen de mate der drukspanningen en de dikte der beenelementen, zien wij zonder uitzondering met betrekking tot trekspanningen ontbreken in alle kraakbeenbeenderen die wij daarop onderzochten. N e r g e n s — in de talrijke beendoorsneden welke wij maakten en bestudeerden — troffen wij beenbanen in een richting waar uitsluitend trek had ingewerkt.

Het is nu deze tegenstelling in den invloed op beenvorming die wij waarnemen tusschen trek en druk welke ons noodzaakt te breken met de heerschende opvatting over den „trajectoriëelen bouw der beenderen", met „Culmann-Meyer's kraanhypothese", met Meyer's „calcaneushypothese", met Roux's opvatting over den bouw van knie-ankylose en „last not least" met „Wolff's Wet" der Transformatie der beenderen, welke alle als onkruid zich over 't veld onzer wetenschap hebben verbreid, en de ken-

nis over de vorming, den bouw en de vervorming der beenderen hebben in den weg gestaan. Mag men WOLFF niet de verdienste ontzeggen op transformatie der beenderen, d. i. op wijziging in de spongiosa der beenderen bij wijziging der inwerkende krachten, te hebben gewezen, volgens zijn w e t, welke bij deze transformatie aan trek- en drukspanningen beide beenvormend vermogen toekent (vgl. blz. 3), gedraagt zich het beenweefsel niet. Van WOLFF's „Gesetz der Transformation der Knochen" vervalt dus 't „Gesetz" en blijft slechts de „Transformation", en — gelijk wij nader zullen zien — in meer beperkte mate dan hij heeft gemeend (vgl. Hoofdstuk VI). En het is te hopen, dat, alvorens in de toekomst een schrijver aangeeft dat een beenstuk zich vervormt volgens „WOLFF's wet", hij de moeite zal nemen zich te overtuigen dat achter de veelheid van woorden, waarmee JULIUS WOLFF zijn „wet" in boven aangehaald werk heeft neergelegd, elk bewijs ontbreekt dat trekspanningen beenvormend vermogen zouden hebben. Daarmee zou een grondslag voor de gezonde ontwikkeling van de leer der misvormigen worden gelegd.

Doch, of toekomstige schrijvers die moeite zullen nemen of niet, door klinici moge uit het voorgaande de leering worden getrokken, dat daar waar beenaanmaak moet worden bevorderd — als bij fracturen en beentransplantaten — niet van trek, doch wel van druk, beenvormende invloed zal mogen worden verwacht. En Hoofdstuk V zal nog nader doen zien van welken aard die die druk moet zijn.

Kunnen wij dus aan trek een beenvormend vermogen niet toekennen en zelfs op goede gronden ontzeggen, dat nochtans het beenweefsel voor haar geleiding kan dienen, behoeft ons niet meer te verwonderen dan dat vrouwen loopen over wegen welke door mannen zijn aangelegd. Toch is de geschiktheid van beenweefsel voor het weerstaan van druk grooter dan die voor het weerstaan van trek: de drukvastheid van beenweefsel

is grooter dan de trekvastheid. RAUBER [1]) vond deze verhouding = 4 : 3. En algemeen bekend is ook dat beenbreuken steeds ontstaan aan de zijde der trekspanningen en niet aan die der drukspanningen [2]).

Leverden wij dus in dit en de vorige hoofdstukken gronden voor de aanname dat trek beenvormend vermogen mist — in tegenstelling met druk — de volgende hoofdstukken zullen hiervan de proef op de som leveren, doordien de bouw van de spongiosa der kraakbeenbeenderen zich — althans in grove trekken — gemakkelijk laat begrijpen, indien men haar beschouwt als uit drukelementen te zijn samengesteld.

De drukkende krachten die op een vast lichaam inwerken, wekken — gelijk overbekend — trekspanningen op in de richtingen loodrecht op den druk. Behalve het weerstaan van druk wordt dus van het beenweefsel geëischt ook 't vermogen tot het weerstaan van trek in de richtingen loodrecht op den druk. Zonder dit vermogen zou het beenweefsel op inwerking van druk licht scheuren vertoonen evenwijdig aan den druk, overlangsche fracturen, die in werkelijkheid als „Krönlein's fracturen" slechts tot de zeldzaamheden behooren. Waar dus het weerstaan van trek loodrecht op druk een functie van beenweefsel is, zoo goed als het weerstaan van druk, daar mag het verwondering wekken dat niettemin trekspanningen, loodrecht op den druk inwerkend, in gebreke blijven beenvormend te werken (zie blz. 42—44). Inderdaad ontbreekt ons hierin elk dieper inzicht. Wij kunnen slechts wijzen op zekere overeenkomst met peesweefsel, waarin de trekspanningen,

1) RAUBER, Elasticität u. Festigkeit der Knochen. 1876. (Geciteerd naar O. MESSERER, Ueber Elasticität u. Festigkeit der menschlichen Knochen, Stuttgart 1880).

2) CHRISTEN, Die Entstehung der Diaphysenbrüche. Verhandlungen der deutschen orthop. Gesellschaft. XIII Kongress, S. 12.

in de richting der pezen werkend, drukspanningen opwekken in de richtingen loodrecht daarop; doch zonder dat deze drukspanningen als zoodanig de vorming van peesweefsel schijnen te bevorderen. Indien men het weerstaan van druk de primaire functie van been zou noemen, en het weerstaan van trek de secundaire functie, en omgekeerd van peesweefsel, dan zou men kortweg kunnen zeggen: slechts de primaire functie dezer steunweefsels vormt een trophischen prikkel.

HOOFDSTUK IV.

DE SPONGIOSA SAMENGESTELD UIT DRUKELEMENTEN.

A. Voorwaarden voor Ontstaan en Bestaan van Spongiosa als zoodanig.

Alvorens na te gaan de wijze waarop de spongiosa is opgebouwd, is het noodig de voorwaarden te leeren kennen waaraan haar ontstaan en instandhouding als zoodanig gebonden zijn.

De kokervorm van de diaphysen der lange beenderen verzekert aan het materiaal de grootst mogelijke stevigheid, en beperkt de kans op buiging of knikking, resp. breuk tot een minimum. Het gevaar voor buiging of knikking resp. breuk is in het midden der diaphysen in 't algemeen het grootst. Hier toch moeten behalve den belastingdruk ook de spanningen worden gedragen welke door de buiging worden opgewekt, en welke van het midden naar de beide uiteinden afnemen in grootte. In het midden der lange beenderen worden dus betrekkelijk groote spanningen door betrekkelijk kleine doorsneden geleid. En hierin zullen wij den grond leeren kennen voor het feit dat de kokerwand een compacten bouw vertoont. Wanneer n.l. na een breuk van een beenkoker, de deelen zóó verplaatst vergroeien, dat zij elkaar aanraken over een gebied dat uitgestrekter is dan normaal, en de spanningen

dus door vergroote dwarsdoorsneden van het eene beenstuk naar het andere worden voortgeleid, ontstaan op de plaats der vergroeiing kleine openingen; er vormt zich een weefsel dat, hoewel ietwat grof, het voorkomen van spongiosa heeft (zie Fig. 32). Wij zien dan spongiosa ontstaan uit compacta door resorptie van bepaalde deelen en zoodoende de vergroote dwarse doorsnede, welke de drukspanningen van het eene beenstuk op het andere overbrengt, als 't ware kleiner worden. Wij mogen aannemen dat deze verandering tot stand komt doordien overtollig materiaal wordt geresorbeerd, terwijl slechts dat wat voor het dragen der spanningen noodig was, en door „den trophischen prikkel der functie" [1]) onderhouden werd, behouden bleef, een proces dat wij met Roux „Teilauslese" — of misschien niet minder juist: functiekeuze — kunnen noemen. Doch welken naam men aan het verschijnsel geven moge, wij zien hier in aansluiting aan een primaire vergrooting der dwarse doorsnede het compacte beenweefsel in een sponsachtig overgaan.

In wezen hetzelfde verschijnsel nu nemen wij normaliter waar bij den overgang van de compacta der diaphysen in de spongiosa van de uiteinden der lange beenderen. Ook daar heeft een vergrooting plaats der dwarse doorsnede die den druk overbrengt op het aangrenzende been. De eindvlakken der beenderen toch hebben niet meer den ringvorm der diaphysen doch de geheele dwarse doorsnede dient, als gewrichtsvlak, voor de overbrenging van den druk. Daarenboven is deze dwarse doorsnede grooter dan doorsneden nader bij het midden: de lange beenderen toch toonen een knodsvormige verdikking aan hun einde. Hoe deze verdikking tot stand komt, kan thans buiten beschouwing blijven. Wij mogen volstaan

1) De uitdrukking is van W. Roux.



Fig. 32



Fig. 33

met op te merken dat zij aan de stevigheid van het gewricht ten goede komt. Men denke b.v., hoe het met de zijdelingsche beweeglijkheid van het kniegewricht zou gesteld zijn, indien de dunne voortzetting van de scheen- en dijbeenkokers elkaar daar zonder verbreeding zouden ontmoeten. Hoe dit zij, wij vinden van de diaphysen naar de uiteinden der lange beenderen een vergrooting der dwarse doorsnede, en, daarmee gepaard gaande, een overgang van het compacte beenweefsel in sponsachtige zelfstandigheid. Wat bij de beenbreuk (Fig. 32) ontstaat in verschillende **tijden** op eenzelfde **plaats,** vertoonen de lange beenderen op verschillende **plaatsen** in eenzelfden **tijd,** n.l. den overgang van compacta in spongiosa daar waar de dwarse doorsnede zich vergroot welke den druk voortgeleidt.

Men kan zich natuurlijk omgekeerd ook voorstellen dat in de normale pijpbeenderen de spongiosa overgaat in compacta en wel door verkleining der doorsnede; en ook in die volgorde zien wij op verschillende tijden den overgang van spongiosa in compacta, d. i. dus bij verkleining van de dwarse doorsnede welke de krachten voortgeleidt. Het duidelijkst zien wij dit bij gewrichtsankylosen.

In 't praeparaat van Fig. 33 zijn de kniegewrichtsvlakken te gronde gegaan en femur en tibia beenig vergroeid. Fig. 33^a geeft de dwarse doorsnede weer ter hoogte van de (vergroeide) knieschijf door de ankylose gelegd, Fig. 33^b een frontale doorsnede van de tibia waaraan nog een deel van het dwarse sneevlak herkenbaar is dat tegen Fig. 32^a aanpast. Zij is dus ten opzichte van dit laatste 90° gedraaid gephotographeerd. Wij zien nu dat de koker van het scheenbeen bezig is zich door de spongiosa heen naar dien van het dijbeen voort te zetten. Het kleine gebied van de voormalige spongiosa dat van den koker van het scheenbeen naar dien van 't dijbeen den druk voortleidt,

verdikt zich tot compact weefsel; de overige spongiosa daarbinnen en daarbuiten atrophiëert. Hier blijkt dus de spongiosa in compacta te kunnen overgaan evenals omgekeerd, al naardat — bij gelijken druk — de dwarse doorsnede welke den druk voortgeleidt, zich verkleint of vergroot.

Terloops merke men op dat de spongiosa in de onmiddellijke omgeving van den koker hier en daar bijna geheel is verdwenen, terwijl een dunne beenlaag van 't periost daaromheen weer beter bewaard, en daarmee de uitwendige vorm van tibia en femur gehandhaafd, is gebleven. Hierop komen wij later terug (zie blz. 101). Voor 't oogenblik is slechts de overgang van spongiosa in compacta voor ons van belang — een verschijnsel dat wij ook in de ankylotische elleboog van Fig. 34 en de ankylotische heup (Fig. 35, vgl. Fig. 1), min of meer volledig waarnemen, en dat wij met een verkleining der contactvlakken zien samengaan, evenals omgekeerd den overgang van compacta in spongiosa met een vergrooting der dwarse doorsnede welke den druk voortgeleidt.

Voor den lezer die nog zou kunnen meenen dat sommige der beenelementen in de bovenstaande afbeeldingen (Fig. 34 en 35) aan trekspanningen zouden kunnen worden toegeschreven, mogen enkele opmerkingen noodig zijn:

In de ankylotische elleboog (Fig. 34) zijn langs de concave zijde drukspanningen opgewekt, wanneer de arm tot steun diende; langs de convexe zijde wanneer de hand een gewicht droeg; en een en ander geschiedde afwisselend wanneer het plotseling eindigen van een dezer functies, trillende bewegingen in de humero-ulna opwekte. Ook mag waarschijnlijk worden geacht dat de biarticulaire hoofden van bi- en triceps — welke bij elleboog-ontsteking overleven (vgl. blz. 22) — drukspanningen in de vóór- resp. de achterzijde dier beenderen doen ontstaan Deze drukspanningen mogen dus voor den stevigen beenkoker welke de humero-ulna vormt, worden aansprakelijk gesteld. Slechts de streek van het olecranon is atrophisch, zoodat een deel daarvan door beschadiging (buiten ons toedoen) licht kon verdwijnen. Het is het gebied waarin na het ontstaan der ankylose het lange — biarticu-



Fig. 34

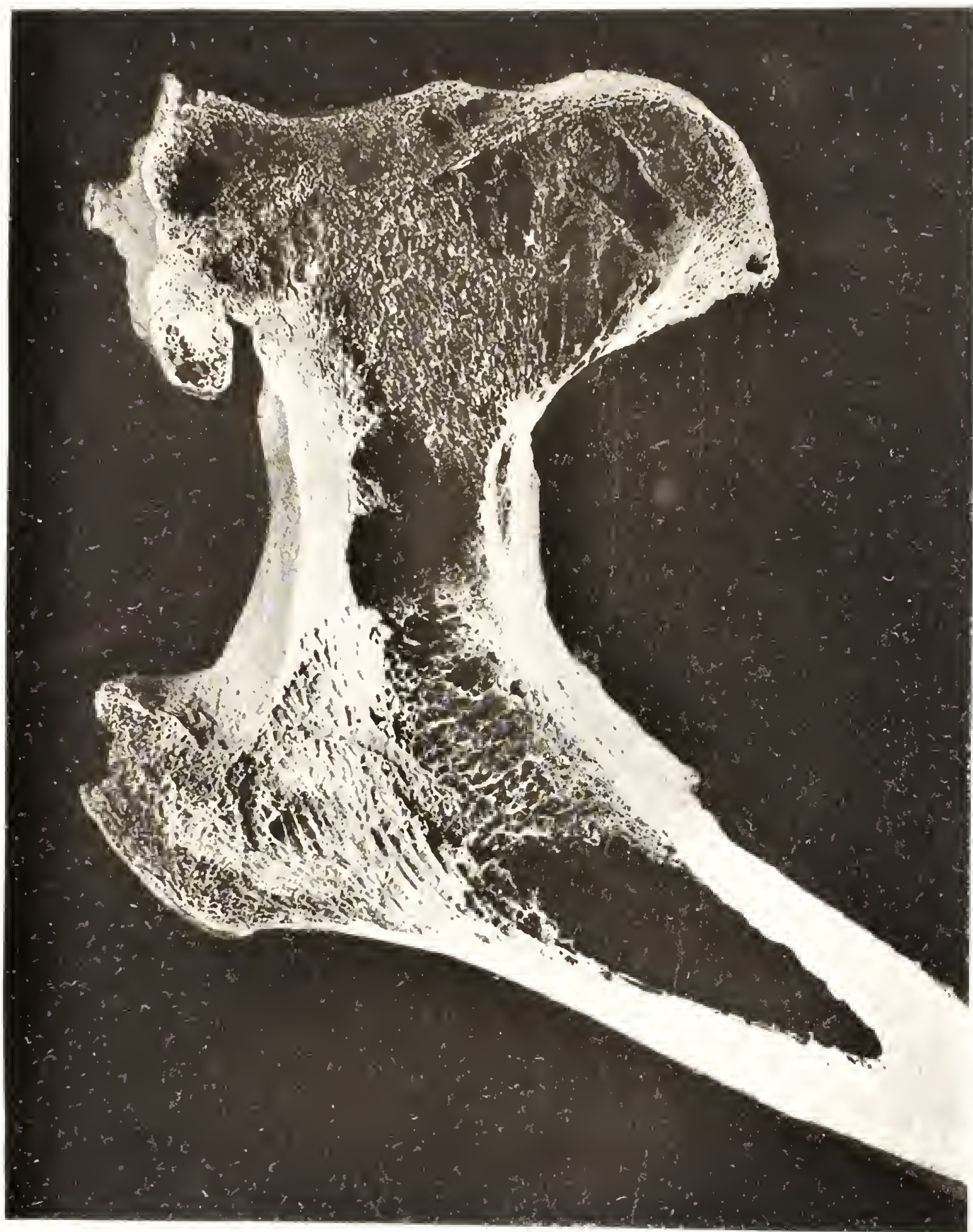


Fig. 35

laire — hoofd van den M. triceps brachii nog slechts trekspanningen kon opwekken.

Dat de convexe zijde van den dijbeenhals in de ankylotische heup (Fig. 35) verdikt is en grootendeels tot compacta verdicht, zou bij den eersten oogopslag kunnen doen vermoeden dat hier toch een gebied lag waar trekspanningen tot beenvorming hebben geleid. Immers, de pelvi-trochantere spieren welke normaliter de drukspanningen in de richting van de halsas leveren, monarticulair als zij zijn, zijn na de beenige vergroeiing van haar functie ontheven en te gronde gegaan (vgl. blz. 22 en 54). Toch zijn ook hier drukspanningen allerminst uit te sluiten. Men bedenke dat bij het loopen in het pelvo-femur licht verbuigingen optreden in de richting der abductie telkens wanneer het been der gezonde zijde wordt opgeheven en de romp zich zijdelings naar de aangedane zijde buigt, ten einde het zwaartepunt boven het ondersteuningsvlak van den voet dier zijde te brengen. Het gewicht van het bovenlichaam dat de gezondzijdige bekkenhelft oplicht, kan daarbij aan de aangedane zijde den dijbeenhals verbuigen in de richting eener coxa valga en daarbij drukspanningen opwekken in de convexe zijde van dien hals welke wij tot compacta verdikt vinden. Ook wekken adduceerende bewegingen in 't pelvo-femur welke plotseling eindigen, trillende bewegingen op die met drukspanningen in de convexe zijde van den dijbeenhals gepaard gaan. Deze terugveerende krachten konden worden verwaarloosd bij de coxa vara, waar 't dijbeenhoofd in de heupkom beweeglijk is en dus de massa van het trillende deel gering, (vgl. blz. 23 en 46). Hier echter, waar het zware bekken en de romp beenig met den dijbeenhals verbonden zijn, is het moment der veerende krachten groot, en mag het evenmin verwaarloosd worden als bij knieankylosen.

Opvallend zijn de beenspangen welke de concave en de convexe zijde van den kokerwand der ankylotische elleboog (in het gebied van den humerus) onder scheeve hoeken verbinden. Wij treffen ze aan in alle ankylosen welke in anderen dan den gestrekten stand tot ontwikkeling kwamen. Men ziet ze in Fig. 19 en 20. Fig. 33[b] vertoont ze, schuin doorgesneden, als witte stippen. Fig. 35 heeft ze in de bocht van den dijbeenhals. Om hun ontstaan te begrijpen, moet men bedenken dat een gebogen of geknikte staaf of koker bij verdere doorbuiging of knikking in het gebied der buiging wordt afgeplat in het vlak der buiging. De holle en de bolle zijde van den (vroegeren) humerus van Fig. 34 trachtten m. a. w. elkaar bij elke lichte doorbuiging van de humero-ulna in het vlak der buiging te naderen, zoodat haar dwarse doorsnede op de plaats der doorbuiging meer den vorm van een ovaal naderde met de korte

afmeting in het vlak der buiging; en wij mogen aannemen dat de schuine beenspangen de richting aanduiden waarin daarbij drukspanningen in de spongiosaelementen werden opgewekt welke tot hun onderhoud en verdikking leidden, terwijl de omgevende spongiosadeelen atrophiëerden. In de ankylotische knie van Fig. 16, 17 en 18, waar een rest van de gewrichtsspleet als diepe insnijding aan de achterzijde aanwezig is en dus van een afplatting van den beenkoker minder sprake, zijn dan ook de voor-achterwaartsche spangen bijna uitsluitend tot het gebied van de beenverbindingen tusschen femur en tibia beperkt, d. i. tot het gebied waar de sterkste doorbuiging mag worden aangenomen.

Geen enkele der beenbanen, ook in deze praeparaten, kan dus aan trek worden toegeschreven: nergens kan de inwerking van druk langs de bestaande beenbanen gedurende het leven worden uitgesloten.

Het ontstaan en bestaan der spongiosa blijkt dus afhankelijk van een betrekkelijk groote uitgebreidheid der dwarse doorsnede welke den druk voortgeleidt en, daar in iederen stand welke twee gewrichtsvlakten onderling innemen, drukspanningen in haar worden opgewekt en dus moeten worden gekeerd, moet de normale bouw der spongiosa nauw verband houden met de normale beweeglijkheid der gewrichtseinden.

Voegen wij nu samen wat de vorige hoofdstukken en dit hoofdstuk ons hebben geleerd omtrent de samenstelling van de spongiosa, dan komen wij tot de volgende voorstelling: de lijnen waarlangs in de beenderen drukspanningen verloopen, zijn bundelsgewijze door beenbanen vertegenwoordigd die tot compact beenweefsel samensmelten, wanneer de krachtlijnen dicht bijeen liggen, daarentegen ruimten tusschen zich laten, wanneer de krachtlijnen door betrekkelijk groote dwarse doorsneden – gewrichtsvlakken – verloopen. In iederen stand der gewrichtsvlakken onderling gaat een stel krachtlijnen van 't eene been door 't andere; en zoo zullen wij nu nader zien dat in de eerste plaats het aantal dier standen, d. i. de wijze der bewegingen van

de gewrichtsvlakken onderling, de wijze bepaalt waarop de beenbanen in ieder der gewrichtseinden tot spongiosa samenvloeien. In 't volgende hoofdstuk zullen wij dus trachten na te gaan op welke wijze in de verschillende één-, twee- en drieassige gewrichtseinden het verloop der drukspanningen wisselt en daarmee dat der beenbanen welke de spongiosa samenstellen.

B. Wijze waarop de Drukelementen zich tot Spongiosa samenvoegen.

In 't eerste hoofdstuk hebben wij er reeds op gewezen dat ook vroegere onderzoekers hebben getracht de regelen te leeren kennen volgens welke de spongiosa is opgebouwd. Dat daarbij ten onrechte steeds ook aan trekspanningen een rol werd toebedeeld, moge reeds duidelijk zijn geworden, en kan verder onbesproken blijven. De meesten (Meyer, Wolff, Roux, Zaayer e. a.) echter hielden daarbij bovendien uitsluitend rekening met de statische belasting door het lichaamsgewicht in de staande houding. Zschokke wees er op dat de dynamische belasting der spierspanningen vaak veel grooter is dan de statische, en dus bij de verklaring der spongiosa niet mag worden verwaarloosd. De juistheid dezer opvatting moge door een eenvoudig voorbeeld worden toegelicht. Bij het staan op één been met van den grond geheven hiel wordt het lichaamsgewicht geheel door de capitula metatarsalia op den grond overgebracht, en drukt deze wederkeerig tegen de middelvoethoofdjes met gelijke kracht, b. v. 60 Kg. Dit ook is ongeveer de kracht waarmee het lichaamsgewicht de tibia op het voetgewelf drukt. De triceps surae moet nu om den teenenstand te onderhouden, evenwicht maken met den druk tegen de metarsaalhoofdjes. Deze

spier grijpt ten opzichte van de draaiingsas van het voetgewricht aan een ± 3 × zoo korten hefboomsarm aan als de druk van den grond tegen de middelvoethoofdjes, en moet dus een 3 × zoo groote kracht aanwenden, d. i. een driemaal zoo grooten druk zenden door de skeletdeelen die tusschen zijn oorsprongs- eu aanhechtingspunt liggen. Zoo wordt dus de tibia door een druk van 60 + 3 × 60 = 240 Kg. getroffen [1]). Bijna alle latere onderzoekers kennen dan ook zoowel aan de dynamische als aan de statische belasting beteekenis toe. Allen — ook Zschokke — blijven echter in gebreke voor de onhoudbare statische opvatting over den bouw van de spongiosa een dynamische verklaring in de plaats te stellen.

Solger [2]) acht (vlg. blz. 5 en 6), „die Basis der Thatsachen, auf denen eine neue Theorie der Anordnung der Knochensubstanz sich erheben muss, noch lange nicht breit und tief genug". — Indien wij nu in 't navolgende zulk een nieuwe theorie zullen geven, zoo steunt die op de basis der feiten welke wij in de vorige hoofdstukken hebben leeren kennen, en die wij in het navolgende zullen trachten nog nader aan te vullen. Wij mogen echter niet nalaten er aan te herinneren dat de voortplanting van spanningen in elastische lichamen den physici niet nauwkeurig bekend is, en dat daarom reeds elke verklaring der spongiosa, waarbij dus de richting dier spanningen moet worden nagegaan, voorshands slechts een grove benadering moet blijven.

De druk van spier- en zwaartekracht wordt dus door de gewrichtseinden overgebracht niet alleen in de rechtopstaande houding (vgl. blz. 56 en 57); doch voor iederen stand dien een beenstuk kan innemen. Voor iederen stand dien de gewrichtseinden kunnen innemen, moet dus ook

1) Vgl. Christen l. c.

2) B. Solger, Der gegenwärtige Stand von der Knochen-Architektur. — Untersuchungen zur Naturlehre, Jac. Molenschott. XVI Bd, S. 213.

steunmateriaal der daarin verloopende drukspanningen aanwezig zijn. Nemen wij als voorbeeld het ondergedeelte van het dijbeen, en denken wij dit draaiende op de gemakshalve horizontaal gefixeerde bovenvlakte van het scheenbeen. Gaan wij daarbij uit van een rechthoekig gebogen knie, in casu dus van den horizontalen stand van het dijbeen, van waaruit het door een samentrekking van de spieren der voorzijde in den vertikalen opgeheven wordt, dan zien wij bij elke rijzing het contactpunt der dijbeenknobbels met het scheenbeen zich geleidelijk verplaatsen van de achtervlakte dier knobbels naar de ondervlakte. In het binnenste der dijbeenknobbels stralen de daarbij opgewekte drukspanningen dus telkens uit van een meer naar voren gelegen punt der knobbelvlakken. Op welke wijze deze spanningsverdeeling van uit ieder dier punten geschiedt, is een ingewikkeld vraagstuk, dat echter voor ons doel geen volledige oplossing behoeft. Zeker is dat van elk contactpunt uit de spanningen in een ongeveer — mogelijk gebogen — kegelvormige figuur naar voren en boven uitstralen, en tevens dat de sterkste spanningen gericht zijn naar de voor- en bovenzijde der diaphyse, waar de bewegende krachten van den M. quadriceps met de knieschijf aangrijpen, zoodat de kegelvormige figuur der krachtlijnen een zijdelingsche afplatting ondergaat, en den vorm van een waaier nadert, die dus van achter en beneden naar voren en boven gericht is. Bij de bedoelde strekbeweging in de knie straalt dus van elk der punten der dijbeenknobbels die achtereenvolgens met het scheenbeen in aanraking komen, een ongeveer waaiervormig stel druklijnen uit, welke door beenbanen moeten vertegenwoordigd zijn. Teekent men van uit een reeks van achter elkaar gelegen punten van den omtrek der voor-achterwaartsche doorsnede door een dijbeenknobbel waaiervormig uitstralende kracht-

lijnen, dan ziet men hoe zij elkaar veelvuldig snijden en bij voldoende toename van haar aantal bijna het geheele vlak van teekening innemen, openingen tusschen zich latende die nabij de gewrichtsvlakte klein zijn en rond, grooter en meer ovaal op afstand. (Fig. 36).

In overeenstemming hiermee zien wij dat de spongiosa der dijbeenknobbels in de rangschikking harer elementen een voorkeur toont voor de richting waarin de krachten het sterkst zijn, zoodat zij schematisch kan worden beschouwd als te zijn opgebouwd uit talrijke beenplaten die van de achterzijde der knobbels naar de fossa patellaris aan de voorzijde (zie Fig. 37) en van beneden naar boven (Fig. 38) verloopen. Van terzijde gezien, vertoonen deze beenplaten inderdaad openingen die nabij de gewrichtsvlakte klein zijn en rond, en grooter en meer ovaal schijnen te worden, naarmate zij verder daarvan verwijderd zijn (Fig. 39). Deze openingen in de beenplaten of lamellen zijn dus op te vatten als plaatsen waardoor geen drukspanningen gegaan zijn, waar — evenals in de ruimten tusschen de platen — de trophische prikkel der functie ontbroken heeft. En men moet aannemen dat tijdens den groei o. m. deze openingen zich voortdurend vervormen en verplaatsen, d. i. dat telkens op een ander punt in de beenplaatjes de trophische prikkel der drukspanningen inwerkt.

Men merke op dat de plaatjes niet verloopen in het draaiingsvlak of evenwijdig daaraan, wat wij zouden moeten verwachten, indien de zwaartekracht als zoodanig over haar richting besliste. Zij verloopen van de achterzijde der dijbeenknobbels convergeerend naar de fossa patellaris in de richting waarin omgekeerd de krachten der dijstrekkers van de knieschijf naar de gewrichtsvlakken worden overgebracht. De spierkracht blijkt dus, in overeen-

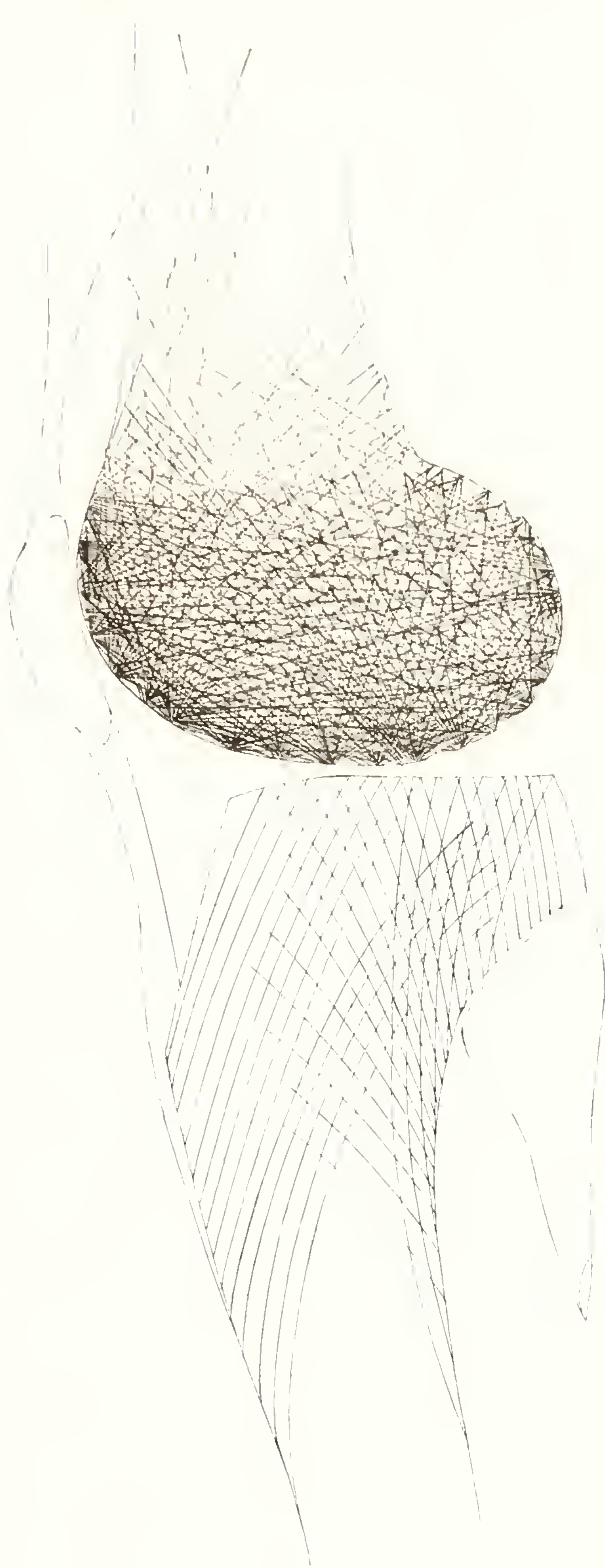


Fig. 36

Het dijbeeneinde van dit schema geeft den bouw in de knobbels zelve weer (vgl. Fig. 43).

Het scheenbeeneinde geeft den bouw tusschen de knobbels weer (vgl. Fig. 45).



Fig. 37

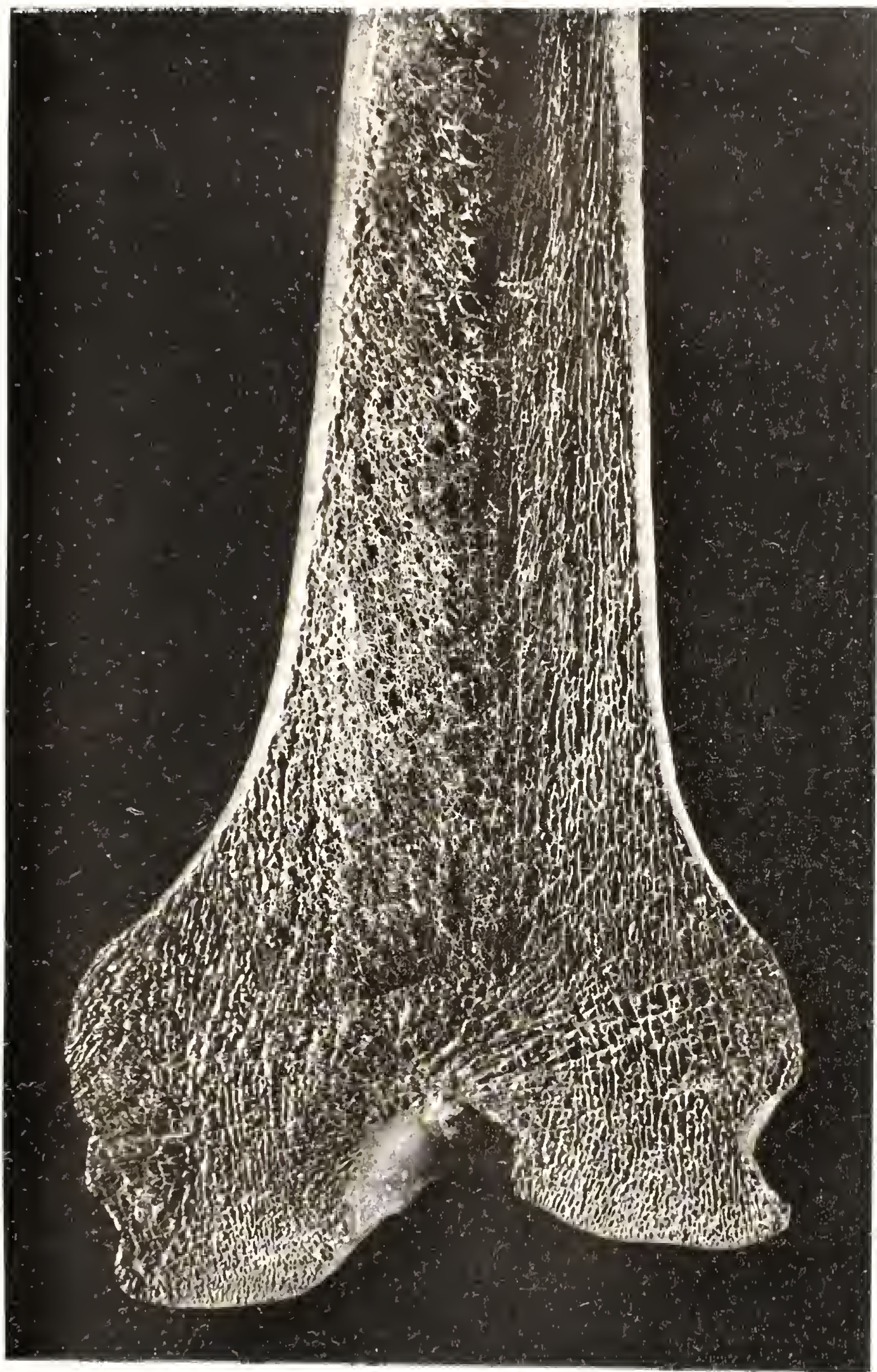


Fig. 38

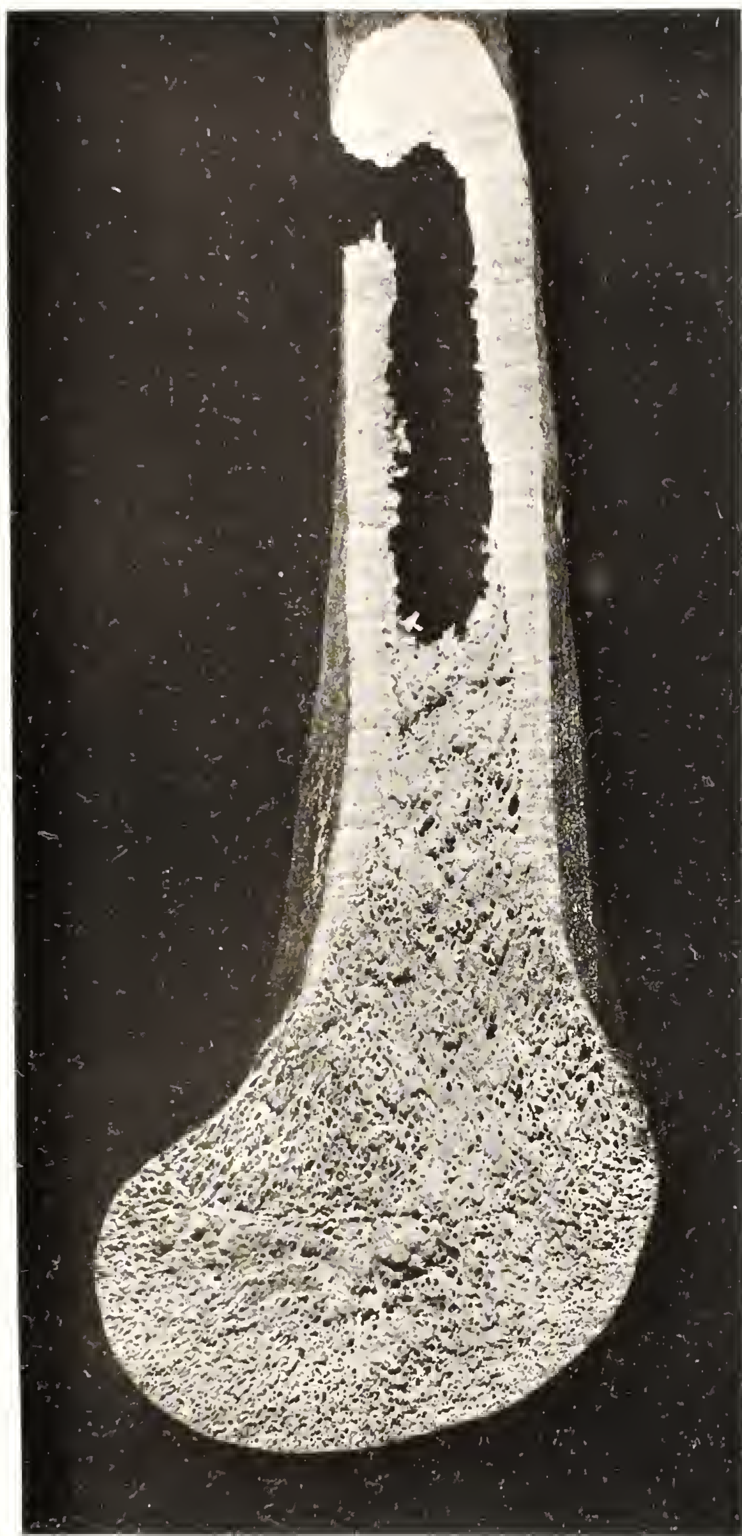


Fig. 39

stemming met de verwachting (zie boven), den beslissenden invloed op den bouw van de spongiosa uit te oefenen.

Op blz. 19 hebben wij er op gewezen dat de beenplaten der spongiosa nimmer een volkomen effen of vlak verloop hebben; doch ongelijkmatige golvingen vertoonen, zoodat haar onderlinge afstand op verschillende plaatsen ongelijk is. Soms raken zij elkaar en schijnen samen te smelten of elkaar te kruisen. Op andere plaatsen schijnt een plaatje zich gaffelvormig te splitsen. (Fig. 9 en 10). Behalve deze splitsings-, ontmoetings- en kruisingspunten der beenplaatjes, treffen wij ook een aantal verbindingsbalkjes aan, die hier en daar den afstand der plaatjes overbruggen. Zij staan geenszins altijd loodrecht op de oppervlakte der plaatjes (vgl. blz. 17); doch zijn vaak schuin gericht (zie Fig. 10). Het zijn de secundaire of accessoire steunelementen die de primaire of essentiëele drukelementen in hun doorbuigingen tegengaan en onderling steunen. Wij merkten reeds op dat zij in 't algemeen daar schijnen voor te komen waar de plaatjes elkaar convexe krommingen toekeeren en een druk, door de plaatjes gaande, hun afstand zal trachten te verkleinen, en de dwarsbalkjes te verkorten, d. i. op druk beproeven (zie blz. 19 Fig. 12). Intusschen, hierover ontbreekt ons de zekerheid, te meer daar de onregelmatig gegolfde plaatjes in een vlak, onmiddellijk onder dat der doorsnede, vaak uitbochtingen in tegengestelde richting vertoonen. Deze dwarsbalkjes of secundaire steunelementen zijn het welke aan de frontale en aan de dwarse doorsneden van het onderste dijbeeneinde ongeveer 't aspect van een vakwerk geven, dat vroegere onderzoekers, welke de scheefhoekig geplaatste dwarsbalkjes over 't hoofd zagen, deed meenen, dat zij aan de richting van grootsten trek beantwoorden, en hun ontstaan aan de inwerking van trekkende krach-

ten gebonden dachten (vgl. blz. 17). Voor ons zijn zij zeker deels, en waarschijnlijk alle, de dragers van drukspanningen. De gronden voor deze aanname hebben wij in de vorige hoofdstukken uiteengezet.

Met de opvatting dat de vóór-achterwaartsche beenplaten in 't onderste dijbeeneinde als samengesmolten zijn uit beenbanen welke in de meest verschillende richtingen elkaar kruisen, komt hun mikroskopische bouw overeen. Gelijk bekend, is in de compacte substantie de lengteas der beenlichaampjes grootendeels gelegen in de richting der drukspanningen, d. i. evenwijdig aan de as der diaphyse. Beziet men de platen van het dijbeenondereinde met loupe-vergrooting, dan blijkt daarin de as der beenlichaampjes in hoofdzaak in het vlak der beenplaat gelegen zijn; doch daarin in alle richtingen te verloopen. In de secundaire elementen, de dwars en schuinverloopende balkjes, valt de lengteas der beenlichaampjes weer samen met die der balkjes. Dat de lamellenopeningen afgerond zijn evenals de ontmoetingsplaatsen tusschen de dwarse steunelementen en de plaatjes, en de rand der openingen met een regelmatige rij van beenlichaampjes omzoomd is, die met hun lengteas evenwijdig aan den omtrek gelegen zijn, is met het bovenstaande geenszins in tegenspraak.

Uit het verloop der beenelementen in het onderste dijbeeneinde is reeds gebleken, dat ALBERT [1]) dit ten onrechte heeft beschreven als „een stel in elkaar zittende buikige flesschen" en de boven behandelde beenplaten „Contourlamellen" genoemd heeft. Fig. 37 toont dat zij slechts de zijdelingsche „Contouren" volgen, niet de voorste en achterste. Ook beeldt ALBERT de vlakte van een beenplaat af als ware zij uit elkaar rechthoekig kruisende elementen opge-

---

1) E. ALBERT. Einführung in das Studium der Architektur der Röhrenknochen. Holder. Wien 1900. S. 47, Fig. 56.

bouwd. Zoowel de makroskopische als de mikroskopische bouw en de samenhang daarvan met de functie blijkt dus Albert ontgaan.

Hij zegt dan ook (blz. 48 l. c.): „Welke mechanische beteekenis deze inrichting kan hebben, zal eerst door latere onderzoekingen worden uitgemaakt".

Terloops wijzen wij op de divergeerende beenbanen welke in het dijbeenondereinde van de fossa intercondyloidea uitgaan (Fig. 37). Albert heeft ze een „radiant" genoemd, als „lamellen" beschreven en vergeleken met „de bladen van een boek, die aan den rug in een plooi samentreffen" (blz. 20 l. c.). Ware dit juist, dan zou de overlangsche, frontale doorsnede van 't dijbeen enkele bladen van het boek geheel of gedeeltelijk op de vlakke zijde moeten vertoonen. Wij zien echter ook daar een „radiant" (zie Fig. 38). Wil men Albert's vergelijking doorvoeren, dan moet men zich dus de bladen van het boek loodrecht op hun lengterichting vele malen gekliefd en in dunne strooken verdeeld denken, zóó dat zij onderling blijven samenhangen in den rug van het boek, die in de lengterichting naar achteren concaaf gebogen is en met de vóór-achterwaartsche vlakte der fossa-intercondyloidea samenvallend gedacht kan worden — wat intusschen den naam „radiant" voor dit systeem niet minder passend doet voorkomen. Het mag als waarschijnlijk worden aangenomen, dat bij lateraal gerichte bewegingen van 't dijbeenboveneinde de fossa intercondyloidea zich naar boven en buiten zal trachten te verlengen en daardoor laterale balken van den radiant op druk zal beproeven, evenals bij mediaal gerichte bewegingen mediale stralen van den radiant. Dit geldt voor den gestrekten stand zoowel als voor elken buigstand. Men kan zich dus voorstellen dat voor ieder dier standen een stel beenstralen zich van de fossa intercondyloidea verheft.

De vóórachterwaartsche beenplaten in het onderste dij-

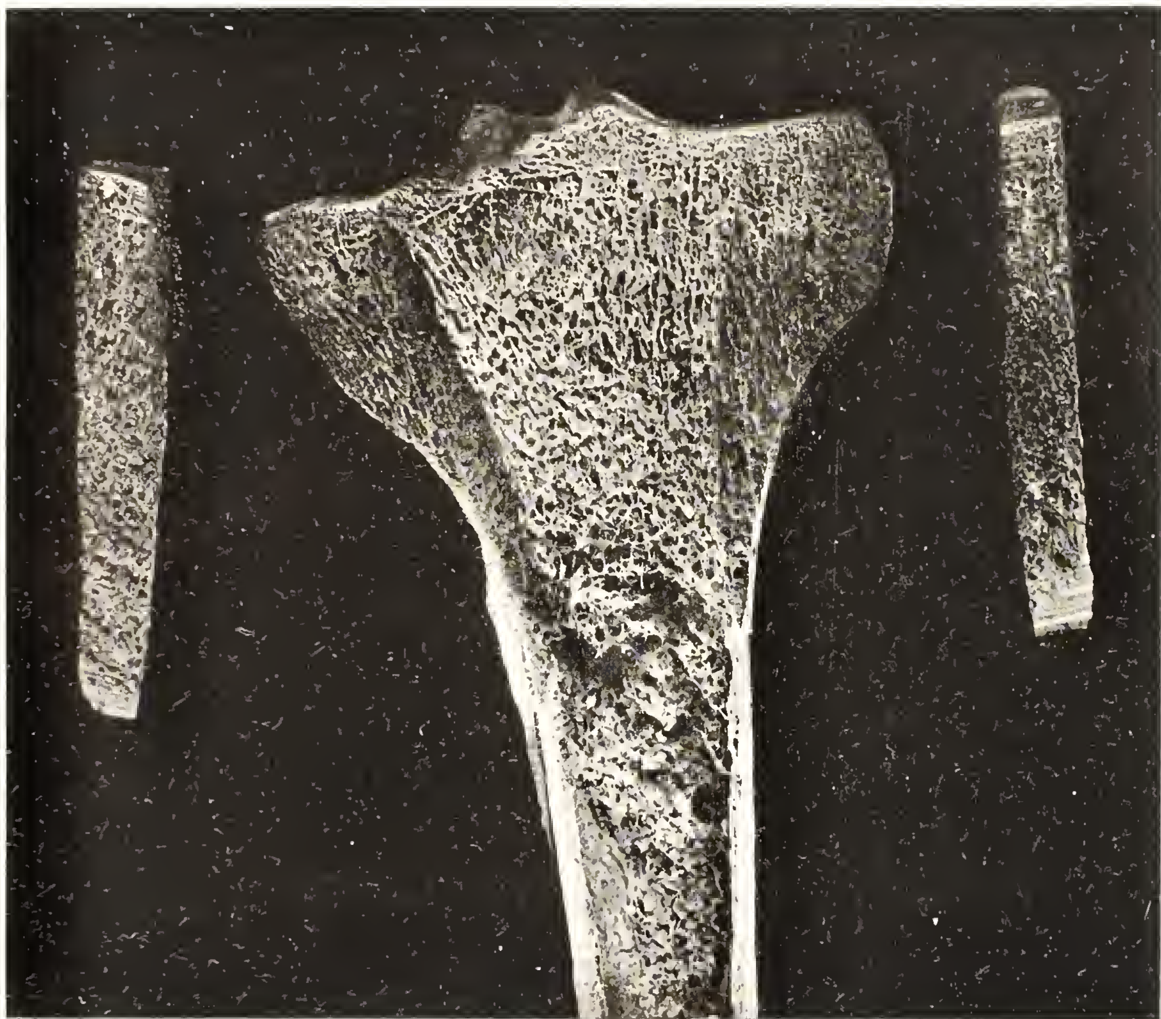
beeneinde met hun schuine en dwarse verbindingsbalkjes zijn het karakteristieke voorbeeld van de rotatie-structuur welke wij aan de convexe zijde van éénassige gewrichten waarnemen. Wij vinden haar b.v. terug in het onderste humeruseinde. Fig. 40^b vertoont daarvan een frontale doorsnede en Fig. 40^a is het daarbij behoorend voorste gedeelte, 90° gedraaid, afgebeeld, nadat een stuk er zijdelings (door vóórachterwaartsche snede) van was afgezaagd. Waar deze zaagsnede ligt, is door de lijn P Q aangegeven in Fig. 40^b. Wanneer de beide stukken *a* en *b* tegen elkaar worden aangepast, vallen dus de lijnen P Q samen. Een voorkeur voor een rangschikking in de richting der beweging is duidelijk, zoodat men ook hier — als bij de knie — mag spreken van plaatjes die Fig. 40^a van terzijde en Fig 40^b op diktedoorsnede vertoont. Nabij de gewrichtslijn verheffen zich de plaatjes op de gewrichtsvlakte, vrij wel met de richting der beweging samenvallend. Hoogerop wijzigen zij hun verloop. En zonder dat wij hier tot een meer nauwkeurige analyse der krachten in staat zijn, mag waarschijnlijk geacht worden, dat ook hier — gelijk bij de knie — de druk der spieren over den bouw der spongiosa beslist. Trouwens in de elleboog treedt om begrijpelijke redenen meer nog dan in de knie de druk der zwaartekracht op den achtergrond en daarmee die der spierkracht op den voorgrond.

Ook aan de concaafzijdige uiteinden der éénassige gewrichten leggen zich de beenelementen, min of meer aan het vlak van draaiing beantwoordend, samen. In Fig. 41^b b.v. zijn twee frontale sneden van het bovenste scheenbeeneinde op elkaar gelegd. Van de voorste zijn zijdelings stukken (*a* en *c*) in de richting der beenplaten afgezaagd en ter weerszijden 90° gedraaid gephotographeerd. In *a* en *c* zijn nu duidelijk de beenplaten meer van de zijde, in *b* meer op de diktedoorsnede ge-



a b

Fig. 40



a b c

Fig. 41

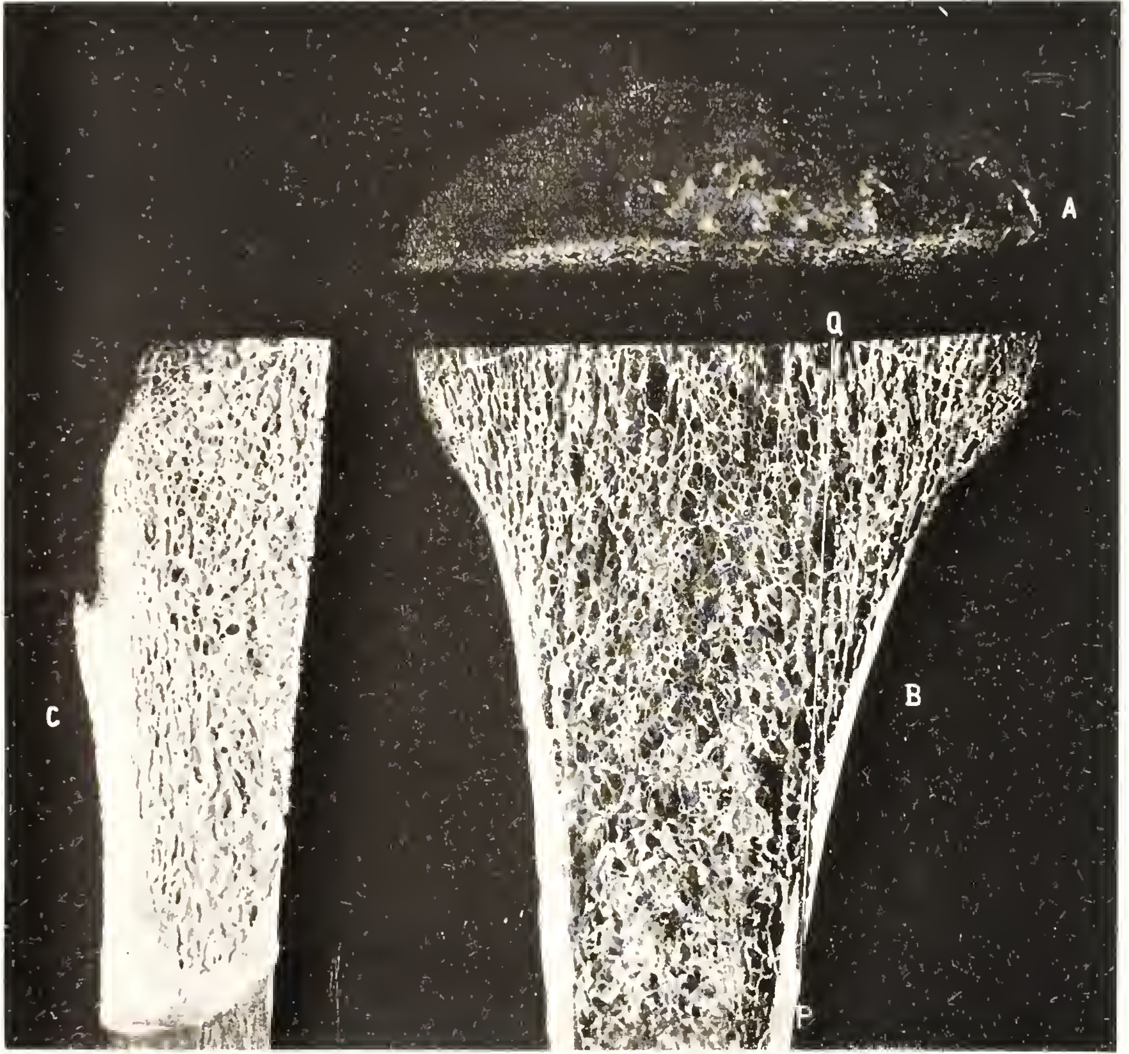


Fig. 42



Fig. 43

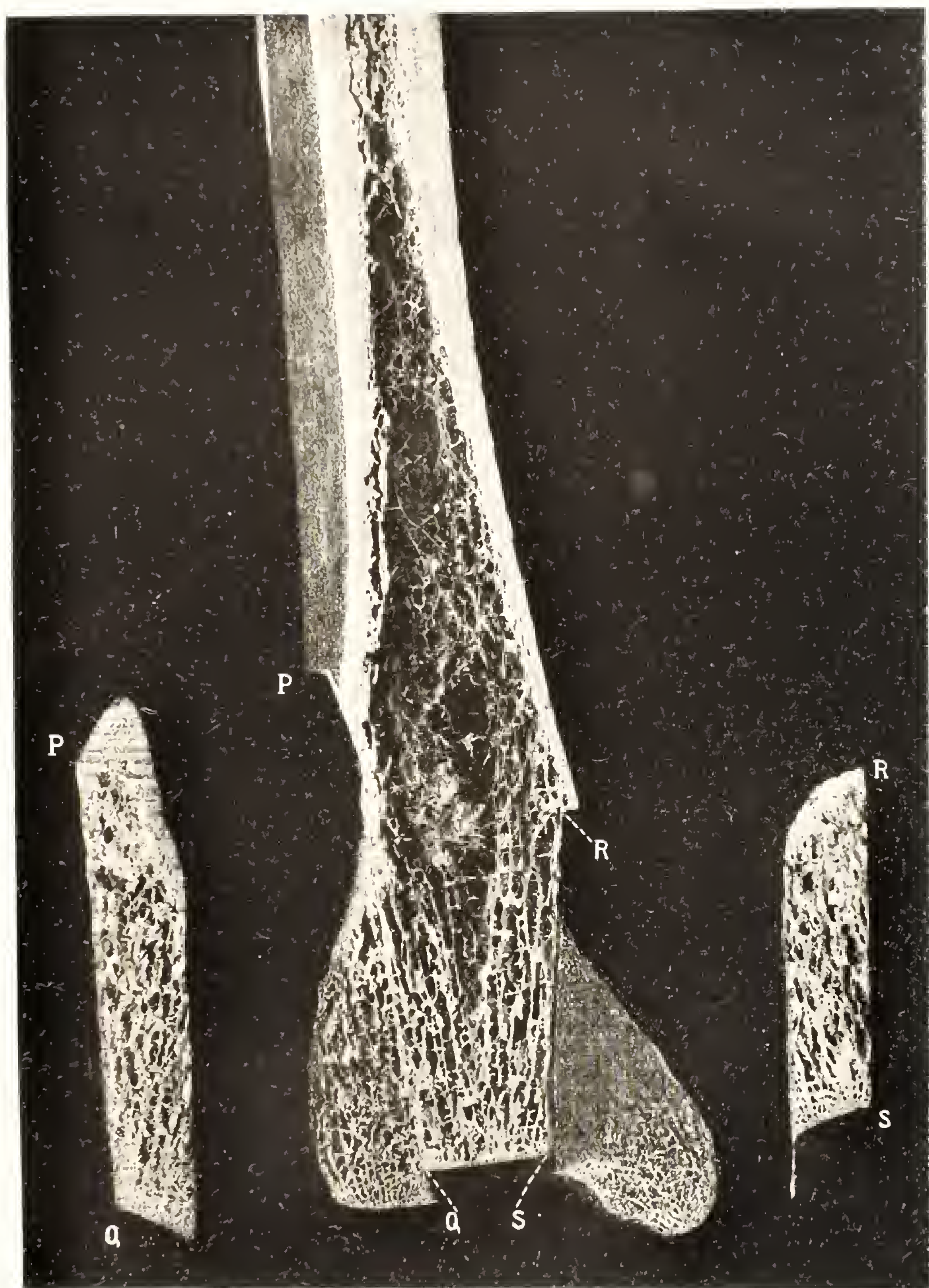
troffen. Hetzelfde verschil toont ook Fig. 42, waarin B de achterste helft der tibia voorstelt en C de voorste helft over 90° gedraaid, en gephotografeerd, nadat zijdelings een stuk was afgezaagd volgens een vlak dat in de lijn PQ (Fig. 42B) eindigt. Intusschen, het contrast tusschen de frontale en de sagittale doorsnede is hier veel minder sterk dan aan de convexe zijde van het kniegewricht. De vóórachterwaartsche beenplaten blijken minder dicht in 't bovenste scheenbeeneinde dan in 't onderste dijbeeneinde (zie Fig. 43). En dit is begrijpelijk. Immers, in het onderste dijbeeneinde is het punt dat den druk op het scheenbeen overbrengt, bij iederen buigstand van de knie een ander, en stralen de krachtlijnen daarin bij doorbuiging telkens van een ander punt uit. Zoodoende is het aantal krachtlijnen en het aantal snijpunten groot. In de bovenvlakte van het scheenbeen daarentegen wordt de druk in alle buigstanden ongeveer door hetzelfde punt opgevangen. Het aantal krachtlijnen van dat vlak uitgaande is dus minder groot, zoowel als het aantal snijpunten dier lijnen onderling. In de concaafzijdige gewrichtseinden is daarom het aantal der in de richtingen der druklijnen vereischte beenbanen minder groot dan in de convexzijdige zoowel als het aantal snijpunten dier banen. Hoewel ook zij in hun rangschikking een duidelijke voorkeur toonen voor het vlak der beweging, en daarin tot plaatjes conflueeren, zoo blijven in de plaatjes der concave zijde grooter openingen dan in die der convexe.

Ditzelfde geldt mutatis mutandis voor de spongiosa van alle eenassige gewrichten. Men vergelijke de concave en convexe zijde der sagittale doorsnede van het voetgewricht (Fig. 7), waarin evenals in de knie de convexe zijde dichter gebouwd blijkt dan de concave. En dat in de laatste de beenelementen niettemin een voorkeur vertoonen voor rangschikking in vóór-achterwaartsche

richting, blijkt uit Fig. 44^b, twee op elkaar gelegde sneden van het onderste scheenbeeneinde. Van de voorste zijn zijdelings stukken in de richting der lengteëlementen afgezaagd en ter weerszijden over een hoek van 90° gedraaid gephotografeerd (a en c). Deze sagittale sneden hebben een dichteren bouw dan de frontale (b). Zij vertoonen de — zij 't ook van vele openingen voorziene — vóór-achterwaarts verloopende beenplaten van ter zijde gezien. Hier, en in de gewrichtseinden van de knie, hebben wij dus vóór ons het karakteristieke beeld der éénassige rotatie-structuur.

Van anatomische zijde is ons het verwijt gemaakt dat wij aan de spongiosa der beenderen een te groote mechanische beteekenis toekennen. De spongiosa zou veel meer tot taak hebben het beenmerg veilig te herbergen dan druk in alle richtingen voort te geleiden. Hiertegen valt op te merken dat de dwarse doorsnede door een spongieus gewrichtseinde, b. v. door de dijbeenknobbels (zie b. v. Fig. 37) of door de scheenbeenknobbels (zie b. v. Fig. 46) uitsluitend spongiosa treft. De corticalis toch is daar een uiterst dunne beenlaag die de eigenlijke beenplaatjes niet of nauwelijks in dikte overtreft. Het lijdt dus geen twijfel of de druk der spier- en zwaartekracht wordt in zijn geheel door de spongiosa gedragen, zoo goed als door de compacta, in een doorsnede die op grooter afstand van 't gewrichtsvlak door de diaphyse wordt gelegd. Trouwens, ook het atrophiëeren resp. verdwijnen van de spongiosa bij het wegvallen van haar functie (zie Fig. 16—20 en Fig. 33—35) maakt een nader bewijs voor dien samenhang uit, welken wij in 't navolgende nog nauwkeuriger willen trachten te leeren kennen.

In een sagittale doorsnede van het kniegewricht tusschen de beide dij- en scheenbeenknobbels (zie Fig. 45), waar de spongiosa niet of veel minder de taak heeft, druk op de tibia over te brengen,



a b c

Fig. 44

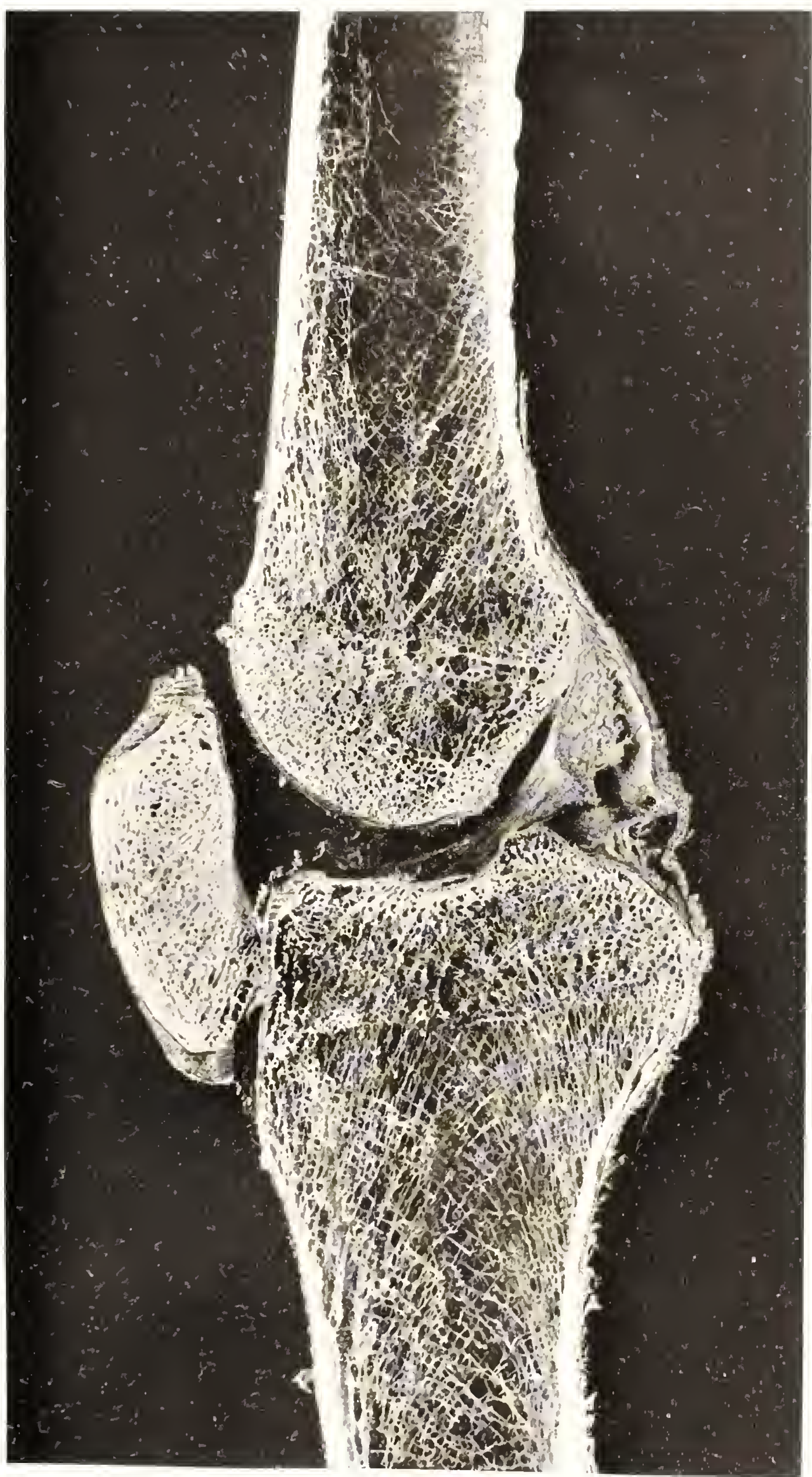


Fig. 45

is haar bouw geheel verschillend. Tusschen die knobbels vinden wij n.l. de structuur veel ijler (zie Fig. 45). De beenplaten ontbreken er. Slechts in het onderste dijbeeneinde treft men een aanduiding er van aan. De beenbanen, voor 't overige in beide gewrichtseinden afzonderlijk verloopend, blijken van de gewrichtsvlakte deels naar de naastbijgelegen corticalis, deels naar die der overzijde te verloopen (vgl. de tibia in Fig. 36 en 45). Deze laatste banen kruisen die der andere zijde en vormen zoodoende figuren die aan gothische bogen herinneren welker punt naar de gewrichtsvlakte gekeerd is. En terloops merke men op dat — de „orthogonaliteit" ten spijt — deze bogen in 't algemeen scheeve hoeken vormen. De onderstelling ligt voor de hand dat deze gekruiste banen tot ontwikkeling worden gebracht door alle krachten welke er naar streven den hoek te wijzigen waaronder de gewrichtsvlakte en de diaphysewand der tibia elkaar ontmoeten. Een kracht b.v. die dezen hoek aan de achterzijde kleiner maakt, zal de van benedenachter naar bovenvoor verloopende beenbanen op druk beproeven; en 't omgekeerde geldt voor de banen welke van de bovenachterzijde naar de voorzijde der diaphyse verloopen. En hiermee is niet in strijd het feit dat enkele dier banen — behalve naar de gewrichtsvlakte — ook naar de corticalis der tegenovergestelde zijde gericht zijn.

Tusschen de concave en de convexe zijde der eenassige rotatiestructuur staat als 't ware de eenvoudige steunstructuur, waarin elke voorkeur der beenelementen voor rangschikking in eenig bepaald vlak ontbreekt, en die wij aantreffen in de onmiddellijke nabijheid der platte gewrichtsvlakken, het meest typisch nabij de eindvlakken der wervellichamen. In een doorsnede evenwijdig aan en zeer nabij deze eindvlakken (Fig. 26A) blijken de vertikale of primaire steunelementen zoozeer in alle richtingen door dwarse elementen verbonden dat men twijfelt of deze overwegen in richtingen evenwijdig aan den

omtrek dan wel in radiaire richting loodrecht daarop. Meer nabij het midden der hoogte van het wervellichaam (Fig. 26[c]) overweegt de radiaire richting der dwarse elementen, waarbij zoowel schuin gerichte krachten (vgl. blz. 41) als dwarsgerichte (in verband met kleine doorbuigingen van 't opstaande zijvlak), bij buigingen van de wervelkolom opgewekt, een rol hebben kunnen spelen.

De verdikking welke de dwarse verbindingselementen aan hun uiteinden zonder uitzondering vertoonen, rondt de openingen tusschen de vertikale en de dwarse elementen af, en wekt den indruk alsof het geheel uit kokers ware samengesteld. Ook de onmiddellijke nabijheid van het betrekkelijk groote gewrichtsvlak aan de bovenzijde der tibia nadert deze eenvoudige steunstructuur, gelijk Fig. 46 — een doorsnede vlak onder de gewrichtsvlakte van 't scheenbeenboveneinde (Fig. 47[a]) — doet zien. Hier is een voorkeur in voorachterwaartsche richting nauwelijks merkbaar — en wel 't minst in 't midden (vgl. Fig. 45) — en zou men met Albert bijna van „Contourlamellen" kunnen spreken. Eerst op eenigen afstand van de platte bovenvlakte komt de voorkeur der beenelementen voor de vóórachterwaartsche richting meer tot uitdrukking (vgl. Fig. 47[b]). Wij zien hierin een overeenkomst met Fig. 26[c] waarin ook eerst op eenigen afstand van het wervereindvlak een voorkeur der dwarse beenelementen voor een bepaalde — de radiaire — richting is waar te nemen.

In de tweeassige gewrichten zou men aan de convexe zijde twee lamellensystemen kunnen verwachten, elk in de richting van het vlak der beweging. Voorzoover echter in alle richtingen tusschen die beide vlakken bewegingen worden uitgevoerd, moet die voorkeur van het beenweefsel voor de beide hoofdvlakken begrijpelijkerwijze vervallen. Fig. 48 geeft in het metatarso-phalangeale gewricht een beeld dat overeenkomt met de eenassige rotatiestructuren, van ter zijde gezien. Het is een dorso-



Fig. 46

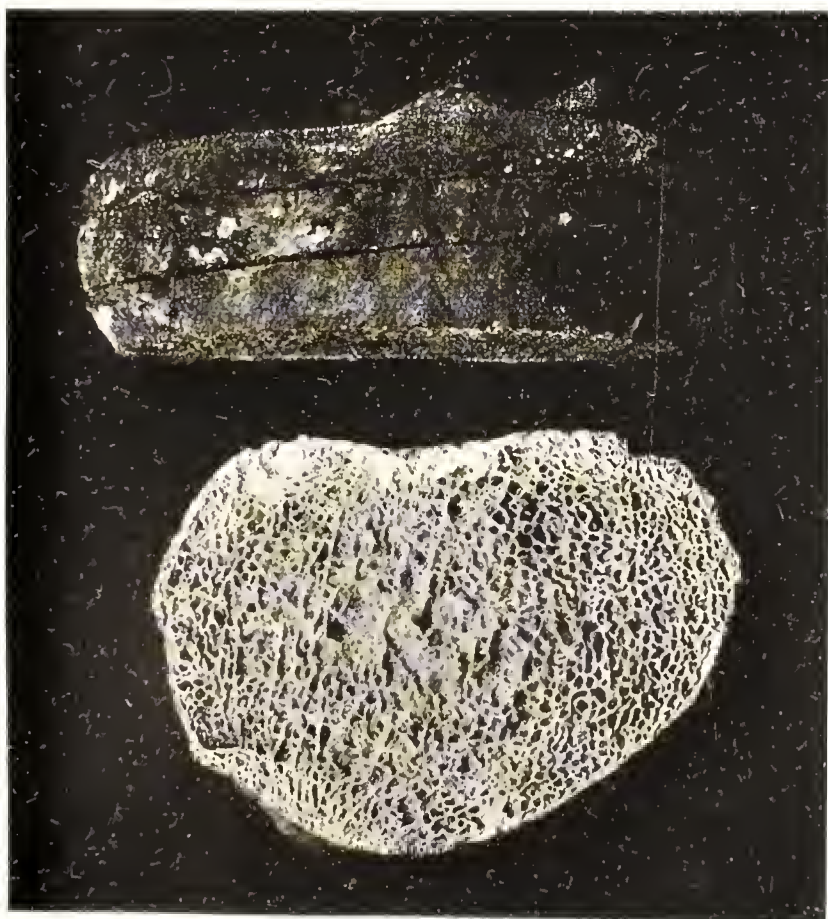


Fig. 47



a b

Fig. 48



Fig. 49

Fig. 50

plantaire doorsnede door de as van het eerste middelvoetbeen van den rechtervoet. Fig. 48b is (van den linkervoet) de doorsnede loodrecht op de eerste, d. i. ongeveer evenwijdig aan de voetzool. Een vergelijking der beide doet aanstonds de voorkeur der elementen voor samenvloeiing in dorso-plantaire richting zien; doch de regelmatigheid in de evenwijdige groepeering der beenplaatjes welke de eenassige rotatiestructuur kenmerkt, blijkt te ontbreken. Hier is een aanduiding merkbaar van plaatjesvorming ook in andere vlakken, waarin aan de werking der ab- en adduceerende spieren loodrecht op die der buig- en strekbewegingen een aandeel niet kan worden ontzegd. Dat hier nochtans het dorso-plantaire systeem verre overweegt boven het bilaterale, komt overeen met het feit dat de kracht en de beteekenis der buig- en strekbewegingen die der abductiebewegingen verre overtreft.

Een dergelijk overwegen in het vlak der krachtigste bewegingen vinden wij in Fig. 49, het ondereinde van den radius. Ook hier hebben wij met een — zij het ook concaafzijdig — tweeassig gewrichtseinde te doen, waarin eveneens plaatvorming in het vlak der buig- en strekbewegingen overweegt. Intusschen, meer in de omgeving van den processus styloideus (rechts in de figuur) gaat deze voorkeur van de beenelementen voor 't vlak van buiging en strekking te loor. Bedenkt men dat de bewegingen tusschen de beide hoofdvlakken worden bewerkt door spieren in de onmiddellijke nabijheid van den processus styloideus, dat daar behalve de beide lange strekkers en den buiger van de hand de bewegers van den duim gelegen zijn — de abductor longus en de beide strekkers zoowel als de lange buiger —, zoodat juist in dit gebied van den radius de spierkrachten in alle richtingen moeten verloopen, dan is ook hier de overeenstemming tusschen den bouw en het verloop der drukspanningen niet te miskennen.

Zien wij dus in de tweeassige gewrichten de typische rotatielamellen der éénassige gewrichtseinden dáár verdwijnen waar de bewegingen in meerdere vlakken plaats hebben, zoo vinden wij daarin een overgang tot dien der drieassige gewrichten, waarin de bewegingen in alle vlakken plaats hebben. De dwarse doorsnede door het hoofd van een dijbeen b.v. heeft een homogeen aanzien, waarop de naam van spongiosa bij uitnemendheid van toepassing is. In het kogelvormig beeneinde gaan de beenbanen in alle richtingen gelijkelijk van het gewrichtsvlak uit, en zijn de openingen naar alle zijden gelijkelijk afgerond. De doorsnede langs de as dier beenderen toont duidelijk hoe ook hier de banen in de richting der inwerkende krachten verloopen. Uitgaande van het gewrichtsoppervlak zien wij hen in het midden van het hoofd samenkomen (en elkander kruisen, Fig. 1), om van daar uit zich naar de compacta der overzijde te begeven resp. daarin over te gaan. Dit geldt voor de frontale doorsnede van het coxale femureinde niet alleen (Fig. 1). Wij nemen hetzelfde — hoewel minder sprekend — waar in de voorachterwaartsche doorsnede van den dijbeenhals. Zie Fig. 50, die de laterale helft is van hetzelfde dijbeen waarvan Fig. 5 de frontale helft voorstelt. Het vlak der afbeelding dezer figuur verloopt dus gebogen volgens de lijn door de as van Fig. 5 zichtbaar. Minder duidelijk is dit in Fig. 51^b, een schijf die volgens voorachterwaarts gebogen vlakken van Fig. 51^a is afgezaagd, en waarvan, nadat zij over een hoek van 90° gedraaid is, de laterale vlakte is gephotografeerd. Toch zijn ook hier niet met zekerheid uit te sluiten van het gewrichtsoppervlak uitgaande banen die zich in de dichte centrale spongiosa kruisen, en zich daaruit losmaken in de richting van den hals om met de compacta der overzijde van den dijbeenhals samen te smelten. Deze banen en haar kruising mogen minder duidelijk zijn dan die der frontale doorsnede van den



a b

Fig. 51

dijbeenhals, zoodat men met zeker recht aan haar bestaan zou kunnen twijfelen; doch het zal wel niemand in den zin komen een der beide aan de inwerking van trekspanningen toe te schrijven.

Morphologisch kan het van beteekenis zijn op te merken dat deze voor-achterwaartsche en achter-voorwaartsche banen reeds spoedig in den hals overgaan (zie Fig. 51^b), evenals de concaafzijdige elementen der frontale doorsnede in Fig. 1. De convexzijdige elementen gaan eerst op grooter afstand van het dijbeenhoofd in de compacta over, en hebben min of meer het aanzien van „contourlamellen", die op regelmatige afstanden onder elkaar (vgl. Fig. 51^b en 1) met de corticalis samensmelten en aan haar verdikking deelnemen; of omgekeerd uit de corticalis ontstaan, doordien deze zich op verschillende punten harer hoogte splitst in elementen welker hoofdrichting door den omtrek der corticalis bepaald wordt, en die door talrijke wederzijdsche verbindingen groote stevigheid erlangen. Dat de analyse der krachten welke hier tot de samenvloeiing der beenbanen tot corticalis leiden, op groote moeilijkheden stuit, behoeft geen betoog. Niettemin mag als vaststaand aangenomen worden dat de druk der abduceerende en flecteerende spieren in 't gebied dier „Contourlamellen" drukspanningen moet opwekken welke elkaar in vele richtingen kruisen.

Fig. 51^b doet nog zien de „dijbeenspoor" — gewoonlijk naar Merkel genoemd en 30 jaren vóór hem ook door Rodet als „lame osseuse sous-trochantérienne" beschreven — die de voortzetting van den diaphysewand uitmaakt welke door de ontwikkeling van den trochanter minor in 't binnenste van 't been is geplaatst (zie Poirier, Anatomie 1899, Tome 1, blz. 230). Hierin moet mogelijk een analogie gezien worden van de voortzetting van den diaphysewand door de spongiosa welke in Fig. 33 is waar te nemen.

In de concave zijde der drieassige gewrich-

ten treft evenals in die der twee- en eenassige het divergeeren der beenbanen (Fig. 1), die als 't ware de voortzetting zijn van die welke elkaar in de convexe zijde kruisen, en daardoor veel ijleren bouw vertoonen dan in de convexe zijde. Van de dwarsverloopende banen in de concave zijde van het *heupbeen* van Fig. 1 zijn de krachten minder nauwkeurig aan te wijzen. Ook hier rechtvaardigt het geslingerd verloop der divergeerende banen welke zij verbinden, de aanname dat zij deels op druk zijn beproefd (vgl. blz. 19); bovendien is het zeker dat in een zoo samengesteld lichaam als het bekken tallooze krachten verloopen welke voorshands niet nauwkeurig kunnen worden aangegeven. De nadruk moet er echter op gelegd worden dat de inwerking van drukspanningen in die banen niet is uitgesloten, en zij dus geenszins als het produkt van trekspanningen mogen worden opgevat.

Overzien wij wat de studie der spongiosa van beenderen welke wij onderzochten, ons heeft geleerd, dan blijkt *dat de bouw der spongiosa zich in grove trekken laat begrijpen, indien wij haar beschouwen als te zijn samengesteld uit beenbanen, verloopend in de richtingen van drukspanningen.*

Deze beenbanen (*primaire steunelementen*) toonen lichte golvingen in haar verloop; zij splitsen zich of vloeien samen, en vertoonen korte schuin en dwars verloopende verbindingsbanen (*secundaire steunelementen*).

Waar de drukspanningen in een zelfde vlak op vele plaatsen kruisen, vloeien de (primaire) beenbanen samen tot beenplaten of lamellen, waarin kleinere ronde openingen overblijven nabij de gewrichtsvlakte en grootere, meer ovale openingen op afstand dier vlakten, en welker stevigheid en onderlinge samenhang door secundaire beenbalkjes verzekerd wordt (éénassige rotatiestructuur). Hoe veelvuldiger

de kruising der krachten, des te meer volledig zijn de plaatjes, d. i. des te kleiner zijn de openingen welke er overblijven, en omgekeerd. Zoo zijn de plaatjes aan de convexe zijde der éénassige rotatiestructuur meer volledig dan aan de concave.

Kruisen de drukspanningen elkaar in meerdere vlakken, dan treedt de lamellaire bouw meer op den achtergrond naarmate het aantal dier bewegingsvlakken toeneemt (twee- en drieassige rotatiestructuur). Nabij 't hoofd van drieassige gewrichten zien wij de compacta zich oplossen in onderling samenhangende banen, welke van uit alle richtingen in 't midden van 't gewrichtshoofd samenkomen en elkaar kruisen, om loodrecht op de gewrichtsvlakte te eindigen.

Waar druk wordt vervangen door trek, hetzij in de richting der primaire hetzij in die der secundaire elementen, daar zien wij de spongiosa in haar geheel atrophiëeren.

Waar de gewrichtsvlakte verdwijnt als bij ankylose van gewrichten en de drukspanningen door kleiner dwarse doorsnede gaan, nadert de spongiosa tot compacta, en omgekeerd nadert de compacta tot spongiosa bij vergrooting dier dwarse doorsnede.

Nergens in de spongiosa zagen wij beenbanen waar de inwerking uitsluitend van trekspanningen moest worden aangenomen.

Dit zijn in het kort de regelen volgens welke de vorming van de spongiosa verloopt, voorzoover zij wordt beheerscht door drukspanningen. Zij gelden voor vervormde beenderen zoowel als voor normale. Immers, met de wijziging van de richting der krachten in de spongiosa zagen wij de richting der beenbanen veranderen — voor welk verschijnsel wij WOLFF's woord „transformatie"

kunnen behouden, hoewel wij zijn „wet" moesten laten vervallen. (Zie blz. 9 tot 50).

De gegeven regelen voor de vorming en vervorming — of als men wil: formatie en transformatie — der spongiosa maken geen aanspraak op volledigheid. Die was ook niet het doel van dit onderzoek, dat slechts beoogde aan te toonen dat een monistische verklaring — uitsluitend door druk — van den bouw der spongiosa, zij 't ook in grove trekken, mogelijk is, zonder te stuiten op bezwaren welke de dualistische verklaring — door druk en trek — onhoudbaar maakten.

Wij willen nu in het volgende hoofdstuk trachten, den druk die vormend op been werkt, nader te leeren kennen.

HOOFDSTUK V.

AARD VAN DEN DRUK DIE VORMEND OP BEEN WERKT.

Hebben wij in 't vorenstaande aangetoond dat het bestaan van de spongiosa in zoo hooge mate afhankelijk is van de inwerking van drukspanningen dat daardoor haar bouw — althans in grove trekken — wordt bepaald, zoo schijnen een aantal feiten daarmee in lijnrechte tegenspraak.

VOLKMANN[1]) wees er in 1862 op dat tegenover den „langsamen stetigen Druck" der Pacchionische granulaties, fungi durae matris, aneurysmata of drukkende gewrichtshoofden het beenweefsel een „flexible Nachgiebigkeit" toont. Ook KORTEWEG[2]) heeft in 1883 op deze toegevendheid gewezen: „Been wordt gemakkelijker dan elk ander weefsel door de omliggende weeke deelen vervormd: Spieren, pezen en bloedvaten maken in 't been gemakkelijk herkenbare groeven, terwijl het omgekeerde nimmer plaats heeft, en dus nergens een afdruk van been in den vorm van weeke deelen valt waar te nemen". „Beschouwt men b.v. een scheenbeen" — zoo zegt KORTEWEG — „dan vindt men de voorvlakte convex, gemouleerd door de huid

1) R. VOLKMANN, Chir. Erfahrungen über Knochenverbiegungen und Knochenwachstum, VIRCHOW's Archiv, Bd. XXIV, 1862, S. 521.
2) J. A. KORTEWEG, Nederl. Tijdschrift voor Geneeskunde, 1883.

en het onderliggende bindweefsel, terwijl de buiten- en achterzijde concave vlakken vertoonen, die door den druk der aanliggende spiermassa's vervormd zijn". Geheel in overeenstemming met deze waarnemingen vond ZSCHOKKE bij een paard een perforeerend gat in het neusbeen, geleidelijk ontstaan door druk van het hoofdstel.

Ter verklaring van deze afbraak van been door druk zijn van verschillende zijden hypothesen geopperd. VOLKMANN zocht de oorzaak in het „langzaam en aanhoudend" inwerken van den druk. KORTEWEG zoekt de oorzaak in de gelijkmatigheid van den druk: constante druk zou been afbreken, terwijl intermitteerende druk been zou aanmaken. Deze tegenstelling in uitwerking van constanten en intermitteerenden druk zou volgens hem worden teweeggebracht, doordien intermitteerende druk versnelde voortbeweging der weefselsappen bewerkt, als een inwendige massage. — Of inderdaad de kleine voluumschommelingen der bloed- en lymphvaten in het beenweefsel, welke door intermitteerenden druk worden teweeggebracht, een voortbewegenden invloed op den inhoud dier vaten hebben, is een theoretisch vraagstuk dat wij onbeantwoord laten. Zeker is dat de voortbewegende invloed van intermitteerenden druk op vaten (in beenweefsel) niet denkbaar is zonder de werking van klepvliezen in de vaten, waarvan intusschen KORTEWEG niet spreekt en welke niet in de venae van merg en compacta maar eerst in die van het periost voorkomen [1]). De feiten verzetten er zich echter tegen, aan te nemen dat dit verschil tusschen constanten en intermitteerenden druk het verschil in gedrag van het beenweefsel zou bepalen: de druk der spieren die b.v. in de opstaande vlakken der tibia uitholling bewerken, kan niet zuiver constant genoemd worden, en hetzelfde geldt — in meerdere mate mis-

1) POIRIER Anatomie T. I, blz. 109.

schien — voor den druk der kloppende arteries welke groeven in het been doen ontstaan.

HIRSCH [1]), die geheel den invloed der spieren op den vorm der beenderen ontkent, bespreekt den afdruk eener dermoidcyste op den schedelwand, en meent dat, zoolang de drukkende kracht klein is, b. v. enkele grammen per □ mM, en zij werkt op een plaats die niet voor druk is ingericht, de compressie van 't periost de oorzaak is van 't verdwijnen van beenweefsel. — Ook al mag men aannemen dat de druk eener dermoidcyste klein is, dan is daarom nog niet aannemelijk dat bij een vergrooting van dien druk het (periostale) been weerstand bieden, standhouden zou. Bovendien blijft HIRSCH in gebreke nader aan te duiden, waarin het „ingericht zijn voor druk" bestaat.

MÜLLER [2]) in Stuttgart zoekt de oorzaak in 't kraakbeen. Waar dit aanwezig is zou het als een stootkussen werken dat den druk gelijkmatig over 't been verdeelt. — HIRSCH merkt daartegen terecht op dat een dermoidcyste zeker niet minder dan kraakbeen als een stootkussen werkt. Indien dus in de bufferwerking van het kraakbeen als zoodanig de oorzaak lag dat de pijpbeenderer een druk van lichaamsgewicht en spierkracht zonder vervorming verdragen, zou eerst recht de lichte druk welke de bedekkende deelen door een dermoidcyste op het been overbrengen, zonder vervorming van het been moeten worden verdragen.

't Aneurysma aortae, dat de zij- en voorvlakten der wervellichamen uitholt, werpt op de betrekkingen tusschen druk eener- en beenvorming of -resorptie anderzijds eenig nader licht: de aortaverwijding is de kennelijke uitdrukking van de omstandigheid dat de vaatwand te zwak

---

1) Centralblatt f. Chirurgie, 1896 N. 25 blz. 595.

2) Geciteerd naar HIRSCH l. c.

is om den geheelen bloeddruk te dragen. Een gedeelte van den bloeddruk wordt dus op de omringende weefsels, n.l. de wervellichamen, overgebracht. Bij warmbloedige dieren is de gemiddelde bloeddruk in de aorta ongeveer 200 mM kwik, d. i. ruim $^1/_4$ Kg. per □ cM. Een aneurysma der buikaorta, dat de voor- en zijvlakte der wervels aanvreet, zou daarop dus een druk uitoefenen van $^1/_4$ Kg. per □ cM, indien het den geheelen bloeddruk daarop overbracht. De aortawand draagt echter steeds zelve nog een deel van den bloeddruk (zoolang zij n.l. niet barst); en zoo bedraagt de druk die de zijvlakte der wervellichamen usureert, steeds minder dan $^1/_4$ Kg. per □ cM. — De horizontale doorsnede, door 't midden van een der onderste lendenwervels gebracht, meet ongeveer 15 □ cM. Daar deze niet ver van 't zwaartepunt van 't lichaam verwijderd is, mogen wij aannemen dat in staande houding ongeveer de helft van 't lichaamsgewicht door haar wordt gedragen, d. i. ± 30 Kg. of ± 2 Kg. per □ cM. Terwijl deze 2 Kg. druk per □ cM. in de richting der drukspanningen, waarvoor 't been gebouwd is, gemakkelijk wordt verdragen, leert dus de usuur van de wervellichamen door 't aneurysma aortae dat een druk **loodrecht** daarop, die daarvan ongeveer 'tachtste deel uitmaakt, tot een snelle afbraak van beenweefsel leidt, hoewel hij, evenals de normale belastingsdruk, een intermitteerend — of beter remitteerend — karakter heeft. Wij krijgen hierdoor den indruk dat been als weerloos is tegen zijdelingschen druk. Zoo vernietigend werkt althans de aneurysma-druk op het beenweefsel dat zelfs de trophische prikkel van de normale belasting die gelijktijdig inwerkt, niet in staat is, het voor den ondergang te behoeden. Wij nemen dus in het beenweefsel een natuurlijke inschikkelijkheid — sit venia verbo — waar tegenover den zijdelingschen druk van zijn

teerdere zusterweefsels. Het laat zich afronden door fasciën, uitkerven door vaten, uithollen door cysten, het wijkt voor gezwellen ook in 't binnenste van zijn spongiosa, en geeft eindelijk voor den druk van 't aneurysma aortae zijn bestaan zóóver prijs dat zijn functie plaatselijk wordt opgeheven. De gelukkige eigenschap der beenzelfstandigheid om voor dezen druk te wijken, waardoor aan de hardheid harer samenstelling alle gevaar voor omliggende weeke deelen ontnomen wordt, blijkt in dit laatste geval zelfs sterker dan de krachten welke onder normale omstandigheden haar bestaan verzekeren. En zóó diep blijkt deze „inschikkelijkheid" aan het beenweefsel ingeprent dat Jössel een gleuf vond in een radius voor een pees die congenitaal ontbrak. De beencellen schijnen dus erfelijk haar „verplichtingen" te kennen tegenover de haar normaliter omringende weefsels; en de vraag rijst: Speelt hier alleen de richting van den druk ten opzichte van dien waarvoor het been is gebouwd, een rol, of ook de aard van den druk?

Niet voor elken druk die zijdelings inwerkt, wijkt het beenweefsel. Reeds Zschokke geeft aan dat tegen een zijdelingschen druk van spieren in, beenuitsteeksels zich ontwikkelen. Zoo verheft zich de trochanter minor op het dijbeen daar waar de M. ileo-psas zich om de binnenzijde daarvan slingert. Hetzelfde geldt voor de tuberositas radii ten opzichte van de pees van den M. biceps brachii. Hier ontwikkelt zich dus beenweefsel in de richting van den zijdelingschen druk in plaats van daarvoor te verdwijnen. En de sesambeenderen die zich op de ombuigingsplaatsen der pezen ontwikkelen (patella en erwtebeentjes), verschillen van deze uitsteeksels wezenlijk slechts daarin dat zij met de pees in plaats van met het been zijn vergroeid. Zien wij dus eenerzijds beenweefsel wijken voor pezen die evenwijdig loopen aan de richting waarvoor het is gebouwd, zoo zien wij het anderzijds tot ontwikkeling komen daar

waar de pees zich om haar heen buigt en dus een deel van den stootenden druk der spier door het beenweefsel zendt. Zagen wij in 't vorige hoofdstuk dat de druk der spier- en zwaartekracht den bouw van spongiosa en compacta in kraakbeenbeenderen — althans in grove trekken — bepaalt en onderhoudt, thans zien wij dat deze druk ook wanneer hij in zijdelingsche richting werkt, dien beenvormenden invloed heeft en een tegengestelde uitwerking aan die van kloppende arteries of ook van andere weeke deelen. Wij zien m. a. w. dat, zoodra de zijdelingsche druk het karakter der spierfunctie aanneemt, zich beenweefsel vormt in de richting van den druk, hetzij als los van 't been, in de pees gelegen beenstukken (sesambeenderen) of als met het been vergroeide verhevenheden (trochanteren, tuberositates). De stootende druk der spieren in verband met dien der zwaartekracht of kortweg de stootende druk van spier- en zwaartekracht blijkt de specifieke mechanische prikkel waardoor de beenvorming — althans in extremiteitenbeenderen en wervellichamen — wordt aangezet.

Behalve op den bouw en den vorm schijnt de stootende druk van spier- en zwaartekracht ook op de grootte der beenderen invloed uit te oefenen. Wij nemen althans een onmiskenbaar parallelisme waar tusschen de grootte van dien druk en die der extremiteiten en haar deelen in de rij der dieren zoowel als bij den mensch: Eerst bij te land levende dieren, waar de stootende druk van spier- en zwaartekracht zich doet gelden, komen de extremiteiten tot krachtige ontwikkeling. Terwijl deze zich van de reptiliën opgaande tot de zoogdieren meer en meer in de richting der zwaartekracht plaatsen, neemt haar lengte geleidelijk toe, om bij de te water levende zoogdieren weer tot vinvormige aanhangsels te slinken. Bij den mensch, waar uitsluitend de

achterste ledematen voor de voortbeweging dienen, zien wij deze in overeenstemming met de hoogere eischen tot veel sterker ontwikkeling komen dan bij de viervoeters, terwijl bovendien de in distale richting afnemende lengte der phalangen in harmonie schijnt met de afnemende grootte van de drukkende krachten der telkens in aantal kleiner wordende pezen. Heel waarschijnlijk echter spelen in deze samengestelde verhoudingen ook andere dan mechanische factoren een rol. Niemand zal b. v. de groote lengte van de pooten der loopvogels in vergelijking met die der zwemvogels zonder meer aan den invloed van stootenden druk van spier- en zwaartekracht toeschrijven; of ook de grooter lengte van den hals der giraffe dan van andere viervoeters aan grooteren druk der halsspieren, en de grooter lengte der voorpooten dan der achterpooten van de giraffe aan het groote gewicht dat zij bij de sterke ontwikkeling van den hals te dragen hebben.

De stootende druk van spier- en zwaartekracht is intusschen *niet de eenige* druk waarmee de ontwikkeling van beenderen evenwijdig verloopt. Bij de te water levende zoogdieren zijn de ribben dik, rond of vierhoekig op doorsnede, en grootendeels uit compacta bestaand, terwijl zij bij de te land levende zoogdieren dun zijn en plat op doorsnede, en grootendeels uit spongiosa bestaande. Hier *schijnt dus een parallelisme* te bestaan *tusschen de grootte van het verschil in druk buiten en binnen den thorax* eener- en de mate der beenvorming anderzijds. Misschien ook mag een soortgelijk parallelisme worden gezien in de sterker ontwikkeling van de producten der eerste kieuwboog (maxilla en mandibula) dan die der drie volgende kieuwbogen en de grooter drukkende krachten waaraan zij bij bijt- en kauwbewegingen zijn blootgesteld. Doch hoe dit zij, zeker is dat niet in den stootenden druk van spier- en zwaartekracht als zoodanig, doch veelmeer *in den*

druk der functie, den functioneelen druk, de prikkel tot beenvorming in de verschillende skeletdeelen moet worden gezocht. Niet het intermitteeren of remitteeren van den druk als zoodanig, maar de functioneele druk schijnt de specifieke mechanische prikkel voor beenvorming, zoodat wij met Roux van den trophischen prikkel der functie kunnen spreken (hoewel wij hierbij van hem daarin verschillen dat wij aan trekspanningen dien prikkel niet toekennen). En deze specifieke gevoeligheid der beencellen is vergelijkbaar met die der retinacellen ten opzichte van licht, der gehoororganen voor geluid. Op elken anderen druk, althans indien hij inwerkt in een richting loodrecht aan dien waarvoor het beenweefsel is gebouwd, zien wij dit te gronde gaan. De vraag rijst: — zou zulk een — d. i. een niet functioneele — druk in de richting waarvoor been is gebouwd, eveneens tot usuur leiden? — Wij kunnen deze mogelijkheid niet met zekerheid uitsluiten; doch neigen er toe aan te nemen dat dit niet het geval is: dat dus in de richting waarvoor been is gebouwd, ook elke andere, hetzij constante of remitteerende, niet functioneele druk beter wordt verdragen dan in richtingen loodrecht daarop. Hiervoor moge het volgende pleiten:

Nadat Wolff in zijn „Gesetz der Transformation der Knochen" had geleerd dat de uitwendige vorm zoowel als de inwendige bouw der beenderen geheel en uitsluitend bepaald zou worden door de uitwendige krachten welke er op inwerken, en dus het beenweefsel door hem werd voorgesteld als materiaal volkomen plastisch ten opzichte van uitwendige krachten, heeft het niet ontbroken aan pogingen, gebogen beenderen recht te drukken door constanten druk zijdelings te doen inwerken op den top en — tegengesteld gericht — aan de einden der kromming. Bij volwassen beenderen nu, d. i. bij beenderen waarin groeiwijziging der groeikraakbeenderen onder den invloed

van zulk een drukwijziging kon worden uitgesloten, leidt deze behandeling — behoudens bij zeer weeke beenderen — wel zonder uitzondering tot teleurstelling. Hoewel toch ook daarbij de constante druk zich indirect in de lengterichting doet gelden, ziet men n.l. wel zonder uitzondering een decubitus der weeke deelen en mogelijk ook verdwijnen van been op de plaatsen van directen druk eer optreden dan recht worden der beenderen. De beenderen schijnen m. a. w. het vermogen te hebben behalve den druk der functie ook elken anderen meer constanten druk in hun lengterichting beter dan in richtingen loodrecht daarop te keeren.

Wel kennen wij vervorming van beenderen door functioneelen druk: aan gewrichtseinden als afplatting en verbreeding met lipvorming aan de randen — b.v. aan 't dijbeenhoofd of de knobbels van dij- en scheenbeen —, wanneer langen tijd aan een deel van het gewrichtsvlak de geheele functie wordt opgedragen (incongruentie der gewrichtsvlakken — Preiser); en bij abnorme beenweekheid (absolute beeninsufficientie) zoowel als bij fracturen en infracties (relatieve beeninsufficientie). Deze vervorming is echter wel streng te scheiden van het wijken van been voor zijdelingschen druk, evenals deze beide veranderingen van den uitwendigen vorm moeten worden enderscheiden van de transformatie, het verschijnsel dat voornamelijk den inwendigen bouw der beenderen betreft.

Tegenover de uitwendige krachten der functie (en zelfs tegenover den meer constanten druk welks richting daarmee samenvalt) staan de inwendige krachten welke de beenvorming bezorgen, als polaire grootheden. Zijn de inwendige krachten der beenvorming — hetzij relatief of absoluut — onvoldoende, zoodat uitwendige krachten verandering van den vorm bewerken, dan zien wij dat de beencellen overeenkomstig de wijziging in het verloop der drukkende krachten door

wijziging van de richting en de dikte der beenderen, zich als 't ware inspannen verder kwaad te keeren, en 't been voor de nieuwe mechanische verhoudingen geschikt te maken. Dit is het proces dat het eerst door WOLFF met schoone afbeeldingen aangetoond en door hem „Transformation" genoemd is (vgl. blz. 48 en 73). Dat hij daarbij de primaire verandering van den uitwendigen vorm, welke door de uitwendige krachten werd teweeggebracht, en welke secundair tot de „transformatie", d. i. tot de verandering van den inwendigen bouw, leidt, ten onrechte ook reeds „transformatie" noemde, is door LORENZ helder in het licht gesteld.

Behalve bij verandering van den uitwendigen vorm toont zich het verschijnsel der transformatie — gelijk wij in de vorige hoofdstukken zagen — ook in de beenderen welker uitwendige vorm gehandhaafd blijft, terwijl de inwerkende krachten zich wijzigen, zooals bij de gewrichtsankylosen (Fig. 16—20, 33—35). En behalve in al deze pathologische gevallen mag ook worden aangenomen dat in normale beenderen tijdens den groei (zie bl. 60), of ook bij vormveranderingen welke binnen de grenzen der norm liggen — zooals de normale anteversio colli femoris, welke in de latere maanden van het intra-uterine leven der menschelijke vrucht toeneemt om na de geboorte weer te verminderen (LE DAMANY), — in het verloop der beenbanen voortdurend wijzigingen optreden welke, met wijzigingen in den functioneelen druk overeenkomende, dus onder het begrip der transformatie moeten worden gerekend.

Zoo is de „Transformatie" slechts de uitdrukking van het feit dat de beenbanen, die zich bij een gegeven vorm der beenderen in het inwendige der beenderen in de richtingen der functioneele drukspanningen leggen, zich bij verandering van den vorm en de grootte der beenderen,

of — ook zonder deze beide — bij verandering van de richting van den functioneelen druk, met die spanningen verleggen. Indien men van een wet zou willen spreken, is dit de wet der formatie resp. der transformatie van de beenderen welke houdbaar kan worden geacht: Bij een gegeven vorm der beenderen leggen resp. verleggen zich de beenbanen in de richtingen van functioneelen druk. En hierbij worde opgemerkt dat 't niet uitsluitend de functioneele druk is die den uitwendigen vorm der beenderen bepaalt (vgl. blz. 83 en Hoofdst. VI).

Transformatie is dus een verschijnsel van het parallelisme tusschen de richting van den functioneelen druk en die der beenbanen — een parallelisme dat wij reeds in de vorige hoofdstukken leerden kennen, en waarvan wij de beteekenis in de navolgende hoofdstukken aan nadere beschouwing zullen onderwerpen.

Indien het verschil in gevoeligheid van het beenweefsel voor druk in de richting waarvoor het is gebouwd en in de richtingen loodrecht daarop inderdaad bestaat, krijgt de rangschikking der beencellen in het beenweefsel bizondere beteekenis.

Wij wezen er reeds op (zie blz. 62) dat de beenlichaampjes, welker vorm, wanneer men van de uitloopers afziet, met meloenpitten kan vergeleken worden, goeddeels zoo gelegen zijn dat hun lengteas vrij nauwkeurig samenvalt met de richting van den druk dien het beenweefsel heeft te weerstaan. In het compacte beenweefsel valt verder de breedte-afmeting samen met den omtrek van Havers' lamellen en de richting der grondlamellen, zoodat een druk van ter zijde — b. v. loodrecht op de as eener diaphyse — welke de beencellen bereikt, in het algemeen met de richting der kleinste afmeting — de dikte — der beencellen samenvalt in tegenstelling met den

functioneelen druk in de richting der diaphyse-as, die juist met de grootste afmeting — de lengte — der beencellen samenvalt. In de lamellen der spongiosa zien wij de beenlichaampjes eveneens met hun zijvlakken gelegen in het vlak der plaatjes, terwijl hun lengte-as overeenkomstig de vele drukrichtingen, in elkaar kruisende lijnen gerangschikt is. *De beenlichaampjes schijnen dus eer te wijken voor druk die tegen hun grootste oppervlak inwerkt,* d. i. in de richting van hun kleinste afmeting, *dan voor dien welke in hun lengterichting inwerkt.* Ten opzichte van dezen zijdelingschen druk schijnen m. a. w. de beencellen te vergelijken met troepen die in de flank worden aangevallen; of ook met een school visschen die den druk van den krachtigen stroom gemakkelijk kunnen te gemoet gaan, zoolang hun lengte-as met den stroom samenvalt, doch aan den stroom geen weerstand zouden kunnen bieden, indien deze op de zijvlakte van hun lichaam inwerkte.

Doch, of de beencellen in haar dwarse afmetingen even goed drukspanningen kunnen weerstaan als in haar lengteafmeting of niet, zeker is dat het beenweefsel in zijn groote „inschikkelijkheid" voor de teerdere zusterweefsels zijner omgeving de kunst toont met hen samen te wonen zonder hen in hun bouw en functie te storen. Zoo geeft het beenweefsel in den mikrokosmos een voorbeeld aan de individuen in den makrokosmos van de wijze waarop een samenwerken voor een gemeenschappelijk hooger doel mogelijk wordt.

De „inschikkelijkheid" van been voor zusterweefsels — of hoe men het wijken van been voor den zachten druk van aanliggende weeke deelen wil noemen — werpt nog eenig licht op de voorstelling volgens welke door dien zachten druk tevens trekspanningen in het beenweefsel zouden opgewekt en een trophische prikkel zou uitgeoefend worden (vgl. blz. 27 tot 30): wel niemand toch zal kunnen meenen

dat de zachte druk der zich verwijdende aorta die de wervels doet verdwijnen in weerwil van functioneele prikkels die (in axiale richting) inwerken, een voedenden prikkel op het been uitoefent; of dat de zijdelingsche druk der aanliggende spieren die de tibia uitholt, tevens een prikkel voor beenvorming zou uitmaken. Zou 't dan — afgezien nog van andere overwegingen (zie blz. 9 tot 50) — wel waarschijnlijk kunnen worden geacht dat de zachte druk van den schedelinhoud die de impressiones digitatae, Pacchioni's groeven e. a. m. bewerkt, tevens beenvorming zou veroorzaken in den schedelwand?

Terloops moet worden opgemerkt dat het boven beschreven wijken van beenweefsel voor weeke deelen niets behoeft te maken te hebben met de plasticiteit van been — zooals dat o. m. bij 't ontstaan der anteversio colli femoris wordt waargenomen — het verschijnsel waarop Volkmann het eerst gewezen heeft en dat met ingrijpende veranderingen in het binnenste der beenderen gepaard gaat. Deze plasticiteit der beenderen behoort echter niet tot het huidig onderwerp, dat slechts beoogt de vorming van been als zoodanig — en niet de vervorming — nader te bestudeeren.

HOOFDSTUK VI.

GRENZEN VAN DEN INVLOED VAN FUNCTIONEELEN DRUK.

Is in de vorige hoofdstukken gebleken dat functioneele druk een trophischen invloed op beenweefsel uitoefent, en zelfs in die mate dat de richting en onderlinge groepeering der beenelementen — althans in grove trekken — beantwoordt aan de richting en onderlinge groepeering der drukspanningen welke tijdens de functie door hen worden voortgeleid, zoo zou de gedachte kunnen rijzen dat de vorming van beenweefsel geheel en al aan de inwerking van druk gebonden is; dat het ontstaan en het bestaan van beenweefsel van de inwerking van druk geheel afhankelijk is, en dus beenweefsel slechts zou kunnen verschijnen daar waar druk inwerkt, en zou moeten verdwijnen waar drukspanningen ophouden zich te doen gelden. Wij meldden reeds dat WOLFF en ROUX [1]) inderdaad geleerd hebben dat de beenderen zoowel in normale als in pathologische gevallen een „functioneelen", „mathematischen vorm" hebben, dat m. a. w. de functioneele krachten geheel mechanisch [2]) mathematisch den vorm — zoowel

1) JULIUS WOLFF, l. c. blz. 90 ff.
Id., Die Lehre von der functionellen Knochengestalt. VIRCHOW's Archiv. Bd. CL.
2) Id., l. c. blz. 146.

als den bouw — der beenderen onder normale en pathologische verhoudingen zouden bepalen. (Zij kenden daarbij aan trek beenvormend vermogen toe en in de vorige hoofdstukken moge gebleken zijn dat dit ten onrechte geschiedde. Wij zouden dus de leer van den „functioneelen" „mathematischen" vorm der beenderen nog slechts zoo kunnen opvatten dat de drukspanningen met mathematische nauwkeurigheid den vorm der beenderen zouden bepalen). Echter, die opvatting zal in 't navolgende onhoudbaar blijken, doordien telkens naast verschijnselen die aan drukkende krachten kunnen worden toegeschreven, zich ook andere invloeden doen kennen, welke wij niet tot mechanische krachten kunnen herleiden. Ten einde dit te doen zien, willen wij den invloed van functioneelen druk op beenvorming en op den vorm der beenderen achtereenvolgens meer van nabij beschouwen.

A. Op Beenvorming.

Zschokke[1]) vond in een overvorming — bekkenfragmenten en de beenderrij van een achterpoot van een rund — duidelijke spongiosa zonder dat daarbij spieren aanwezig waren. Hoewel de bouw dier spongiosa niet met de norm overeenkwam, zoo blijkt toch uit haar aanwezigheid dat spongiosavorming kan plaats hebben onafhankelijk van de inwerking van druk.

Ook bij den mensch vinden wij voorbeelden van beenvorming onafhankelijk van functioneelen druk. Wanneer b. v. kort na de geboorte een extremiteit door kinderverlamming wordt getroffen, en als waardeloos aanhangsel van allen functioneelen druk verstoken blijft, blijft noch-

1) l. c. blz. 51.

tans het been — goeddeels zelfs in zijn normalen vorm — gehandhaafd, hoewel het veel lichter en kalkarmer is, vooral ijle spongiosa heeft, zoodat het door geringen druk tot buiging of knikking te brengen is, en bovendien de groei bij de norm achterblijft. Indien wij hierbij mogen afzien van wijziging in den trophischen invloed der zenuwen (door de verlamming teweeggebracht), dan toonen de beenderen van zulk een verlamde extremiteit als 't ware 't uiterste waartoe erfelijke krachten — zonder de hulp van functioneelen druk — in staat zijn, en het verschil met de norm in zulk een extremiteit zou dan aangeven het gedeelte van (den groei en) de beenvorming dat aan functioneelen druk zou moeten worden toegeschreven. Indien niet van wijziging in den trophischen invloed der zenuwen (door de verlamming teweeggebracht) mag worden afgezien, dan zou meer beenvorming mogen verwacht worden, zoodat het behouden blijven (en zelfs de groei) der volkomen verlamde niet functioneerende extremiteit het vermogen tot beenvorming onafhankelijk van mechanische krachten — of kortweg tot zelfstandige beenvorming — als erfelijke eigenschap ook bij den mensch bewijst.

In schijnbare tegenspraak met de goede ontwikkeling van spongiosa in een overvorming waarin drukkende krachten ontbreken, is de rarefactie resp. haar bijna volledig verdwijnen dat wij in het vorenstaand onderzoek der beenderen van extremiteiten en wervellichamen aantroffen overal waar drukkende krachten ophouden in te werken. Dit wekt de gedachte dat het erfelijk vermogen tot zelfstandige beenvorming zich niet het geheele leven door in gelijke mate handhaaft, maar na de periode van eersten aanleg en groei afneemt, m. a. w. dat de spongiosa in haar voortbestaan meer afhankelijk wordt van druk dan zij is in haar ontstaan.

Het periostale been schijnt ook in 't later leven minder

afhankelijk van functioneelen druk dan de spongiosa: In de door ons onderzochte beensneden is na atrophie van de spongiosa de periostale beenkoker dikker gebleven dan de aangrenzende spongiosa, zoodat b. v. bij de knieankylose (Fig. 33) de oorspronkelijke, uitwendige vorm van dij- en scheenbeen gehandhaafd blijft door een dunne periostale beenschaal, terwijl meer naar binnen de spongiosa bijna geheel te gronde gegaan is. De nieuwvorming van beenderen na subperiostale verwijdering (pijpbeenderen, ribben) bewijst dat in het periost ook nog bij den volwassen mensch het vermogen tot zelfstandige beenvorming bestaat. Immers voordat het periost op nieuw tot een stevige staaf geworden is, kan — althans bij de pijpbeenderen — de functioneele druk als trophische prikkel worden uitgesloten.

Ook op andere wijze toont het periost zich tot zelfstandige beenvorming in staat. Schauta — onder leiding van Brücke — kliefde bij een konijn van 2 à 3 dagen de rechter fascia lata over haar geheele lengte, en vond na 2 maanden het dijbeen veel dikker (en een weinig korter) dan het linker. — Bij een hond, een kat en een big van 2 à 3 weken exstirpeerde hij een oog, en vond den wand van oogkas en bovenkaak verdikt. En een soortgelijke waarneming werd ook bij den mensch gedaan door Schroeder van der Kolk, die bij hemiatrophia cerebri sinistra het achterhoofdgedeelte van den schedel aan die zijde verdikt vond [1]). Of hier behalve vermindering van den druk als zoodanig verwijding van de vaten en meerdere bloedtoevoer een rol speelt, willen wij onbeslist laten. Eveneens welke cellen hierbij de voornaamste rol spelen. Hoofdzaak is dat het periost van het dijbeen zoowel als dat der aangezichtsbeenderen in staat blijkt tot vermeer-

1) Schroeder van der Kolk. Waarneming eener atrophie van het linker halfrond der hersenen. Amsterdam, J. Sulpke 1852. (Geciteerd naar Quant l. c.).

dering van beenvorming zonder toename van inwerkenden druk.

Talrijke dierproeven met beenvlies en beenweefsel door een aantal onderzoekers verricht en in den laatsten tijd door MAYER en WEHNER[1]) met ingenieuse wijzigingen herhaald, hebben aan het licht gebracht dat niet alleen het periost maar ook het endost en de wanden der Haversche kanalen tot beenvorming in staat zijn, nadat zij aan den trophischen prikkel der functie onttrokken, en zelfs op voedseltoevoer uit haar nieuwe omgeving aangewezen zijn. Het sterkst schijnt intusschen het vermogen tot zelfstandige beenvorming te berusten bij het periost.

De zelfstandige beenvorming heeft in den jongsten tijd groote praktische beteekenis gekregen. Zij speelt haar rol in verplante beenstukken welke de laatste jaren in de kliniek een zoo kostbaar middel bij de behandeling van misvormingen zijn gebleken[2]). Ook bij het ontbreken van functioneelen druk zal daarbij dus, en voornamelijk van het beenvlies, beenvorming mogen worden verwacht, nochtans zonder dat de trophische invloed van functioneelen druk wordt onderschat of verwaarloosd. En mogelijk kan in de toekomst met verschillen in het vermogen tot zelfstandige beenvorming tusschen verschillende skeletdeelen worden rekening gehouden, door daar waar weinig of geen functioneele druk kan worden verwacht, bij voorkeur been te planten waarin het zelfstandig vermogen tot beenvorming sterk is ontwikkeld.

---

1) LEO MAYER a. ERNST WEHNER, An experimental study on osteogenesis. — The american Journal of Orthopedic Surgery. Vol. XII, N°. 2, p. 213.

FRED. H. ALBEE, Bone-graft surgery, l. c.

2) ROBERT JONES, Notes on military Orthopaedics, l. c.

CHARLES DANISON and FRANKLIN D. SMITH, Autoplastic Bone surgery. LEA & FEBIGER, Philadelphia & New-York 1917.

S. VORONOFF, Traités des greffes humaines. (Greffes osseuses et articulaires). OCTAVE DOIN & fils, Paris 1916.

Behalve deze practische heeft de zelfstandige beenvorming ook theoretische beteekenis. Wil men zich van haar oorzaken een voorstelling maken, dan moeten twee groepen van verschijnselen worden onderscheiden: In de rij der dieren toont het skelet, en wel reeds bij lagere diersoorten, de tweeledige functie van steun (voor bewegingsorganen) en van beschutting (voor teere, reguleerende, dirigeerende organen als centraal zenuwstelsel en zintuigen). Gelijk bekend neigen sommige natuurphilosophen ertoe aan te nemen dat elk orgaan door zijn functie is te voorschijn gebracht[1]). Met betrekking tot de extremiteitenbeenderen en de wervellichamen kan men zich nu inderdaad voorstellen dat functioneele druk aan het ontstaan dier beenderen is voorafgegaan, en dat de zelfstandige beenvorming — voor zoover zij die toonen — het erfelijk geworden product van dien druk vormt. Niet echter — althans niet in dezelfde mate — geldt dit voor beenderen waarin de beschuttende functie meer op den voorgrond treedt, zooals schedeldak, wervelbogen en mogelijk ook de beenderen van het aangezicht, producten der kieuwbogen en ribben. Wij zagen reeds dat het ontstaan van het schedeldak, waarin de beschuttende functie wel 't meest op den voorgrond schijnt te treden, niet zonder meer aan de inwerking van mechanische krachten kan worden toegeschreven (zie blz. 30 en 86). Wij worden dus geleid tot de voorstelling dat de verbeening van het schedeldak is tot stand gekomen onafhankelijk van en vóór de inwerking van mechanische krachten welke — bij afwezigheid van het been — de onderliggende weeke deelen en daarmee het bestaan van het individu zouden hebben bedreigd resp. dit onmogelijk gemaakt; dat m. a. w. de beenvorming in

1) Vgl. POIRIER, Anatomie T. I p. 4. „L'horizon s'est singulierement agrandi... depuis qu'il est devenu évident pour tout anatomiste que l'organe est créé par sa fonction même" .... Cette vérité est la base de la théorie transformiste.

het schedeldak vergelijkbaar is met de vorming van de harde schaal om weekdieren. De teere hersencellen schijnen zich te hebben omgeven met een schaal van stevig weefsel, gelijk de rups met een omhulsel van boombast, nog vóórdat uitwendige krachten beschadigend resp. vernietigend inwerken.

Dit alles zijn slechts voorstellingen welker waarde wij niet willen overschatten. Nochtans moge duidelijk geworden zijn dat voorzoover men het recht heeft van beschuttende beenderen te spreken, men daarbij in de uitwendige mechanische krachten niet den functioneelen prikkel voor den eersten aanleg daarvan kan zien, en dus in de zelfstandige beenvorming welke die beenderen toonen, ook niet de erfelijk geworden uitwerking van mechanische krachten, gelijk die voor stuttende beenderen — althans tot op zekere hoogte — waarschijnlijk kan worden geacht. En zoo schijnt dus in de beschuttende beenderen de beenvorming van den aanvang af minder afhankelijk van mechanische krachten dan die der stuttende, althans zoover een scheiding tusschen stuttende en beschuttende beenderen kan worden gemaakt.

In dit verband kan het van beteekenis zijn dat bij de ontwikkeling der wervelkolom in het moederlichaam de eerste centrale beenpunten der wervellichamen, in het midden der wervelkolom — het 6de tot het 12de wervellichaam [1]) — verschijnen, terwijl de gelijktijdig optredende neurale (voorste en achterste) ossificatiepunten (der wervelbogen) zoowel als de iets later verschijnende beenkernen der dwarse uitsteeksels eerst in 't craniale gedeelte der wervelkolom optreden en daarna achtereenvolgens in de meer caudaal gelegen wervels verschijnen [1]). De ossificatiepunten der wervellichamen, waarbij de stuttende functie een voorname rol speelt, treden dus het eerst op daar waar de grootste weefselspanningen mogen worden aangenomen, terwijl de

1) Vgl. Poirier. Anatomie T. I, blz. 343.

verbeening der neurale meer beschuttende elementen plaats grijpt in de volgorde van den eersten aanleg der deelen. Uit den aard der zaak ontbreekt ons elke zekerheid omtrent de beteekenis van dit verschil in de volgorde der verbeening tusschen de axiale en de neurale deelen der wervels. Niettemin komt het overeen met de voorstelling dat beenvorming meer onafhankelijk is van mechanische krachten daar waar de beschuttende functie, en meer afhankelijk is van mechanische krachten daar waar de stuttende functie op den voorgrond treedt.

Doch, welke voorstelling men aan de feiten moge verbinden, de waarneming leert dat beenvorming optreedt soms in aansluiting aan functioneelen druk, gelijk in de vorige hoofdstukken moge zijn duideiijk geworden, soms ook zonder dat drukkende of mechanische spanningen aansprakelijk kunnen worden gesteld. En daarmee zijn wij gekomen aan de grenzen van den invloed welken drukspanningen op beenvorming uitoefenen, d. i. aan verschijnselen in het leven van het beenweefsel welke niet tot mechanische krachten kunnen worden teruggebracht, of juister: welke met mechanische krachten een parallelisme niet vertoonen. Echter, het is niet alleen bij de zelfstandige beenvorming dat niet-mechanische invloeden een rol spelen. De beenvorming door drukspanningen op zichzelve is reeds een verschijnsel dat een mechanische verklaring niet toelaat. Immers, dat levende mesoblastcellen op drukspanningen reageeren met den aanmaak eener tusschencelstof geschikt om die drukspannningen te keeren, en zelfs trekspanningen in de richting der drukspanningen zoowel als in de richtingen loodrecht daarop — zoodat samendrukkingen zoowel als dwarse en overlangsche scheuren (KRÖNLEIN's fracturen) tot de zeldzaamheden behooren — is een doelmatige verrichting die wij niet in mechanische factoren hebben leeren ontbinden. Hetzelfde geldt voor het feit dat de beenbanen zich leggen in — en c. q. wisselen met — de richtingen van den druk, het verschijnsel dat

wij bij bestudeering van de vorming, den bouw en de vervorming (transformatie) der spongiosa hebben leeren kennen. En van deze niet tot mechanische krachten teruggebrachte verschijnselen zullen wij nog andere voorbeelden leeren kennen in het navolgende, waar wij willen trachten de grenzen van den invloed van drukspanningen op den vorm der beenderen nog nader af te tasten.

B. Op den Vorm der Beenderen.

De knodsvormige verdikking van de gewrichtseinden der pijpbeenderen, welke wij als oorzaak van den spongieusen bouw daarin leerden beschouwen (blz. 56), is op haar beurt niet tot een mechanische oorzaak terug te brengen. Zij is nuttig, doelmatig, omdat zij meerdere stevigheid aan de gewrichtsverbindingen geeft. Wij zien haar dan ook het sterkst in de knie-gewrichten — en wel in frontale richting — waar de kans op ongewenschte bewegingen, d. i. buiten het vlak van draaiing, het grootst is. In de nuttigheid, doelmatigheid, eener eigenschap wil men wel algemeen een grond zien voor haar behoudenblijven en erfelijk worden. Sommigen mogen nu ook voor het eerste optreden der knodsvormige verdikking van de gewrichtseinden der pijpbeenderen in haar doelmatigheid een grond vinden, anderen mogen haar eerste verschijnen als „toevallige" variatie beschouwen — evenals het ontstaan der soorten, zoowel als 't leven in 't algemeen, als een gevolg van toevallige ontmoetingen der einddeeltjes — voor ons is daarmee het ontstaan en het voortbestaan van de knodsvormige verdikking der pijpbeenderen geenszins tot mechanische krachten herleid. Hetzelfde geldt van den spongieusen bouw als zoodanig in die gewrichtseinden: het verdwijnen van been dat niet op druk wordt beproefd, is

een doelmatigheid die aan zuinigheid herinnert. Immers, de afwezigheid van drukspanningen die aanleiding tot het verdwijnen van beenweefsel geeft, kan niet zonder meer als de oorzaak daarvan worden opgevat: een fundeering verdwijnt niet, indien het huis geen druk op haar uitoefent. De onafwijsbare voorwaarde voor het verdwijnen van niet belaste beenelementen is de werkzaamheid van levende cellen die niet in mechanische factoren ontbonden is. Intusschen betreft het verdwijnen van onbelast been — en daarmee de vorming van spongiosa — veel meer den bouw dan wel den vorm der beenderen die thans aan de orde is.

De kokervorm verzekert — gelijk wij reeds opmerkten — de grootste stevigheid tegen doorbuiging met een minimum materiaal. Behalve bij mensch en dier treffen wij hem ook bij planten (halmen) veelvuldig aan. In beenderen die kort zijn met betrekking tot de uitgebreidheid der gewrichtsvlakken, zien wij den kokervorm ontbreken en den spongieusen bouw der gewrichtseinden in de geheele lengte der beenderen behouden blijven (wervellichamen, hand- en voetwortelbeenderen); terwijl in die beenderen welke met betrekking tot de dwarse doorsnede lang zijn, zoodat zij bij belasting op buiging worden beproefd, de spongieuse einden naar het midden toe tot een pijpvormige compacta samensmelten. In de ribben, welker lengte wel het grootst is met betrekking tot de dwarse doorsnede, en die dus de allereerste plaats onder de lange beenderen innemen, zien wij den pijpvorm uitblijven. Hierbij is echter van een buigingsbelasting door eindelings tegengestelden functioneelen druk geen sprake; doch veelmeer van een druk — gelijk aan het verschil tusschen dampkrings- en intrathoracalen druk — loodrecht op haar buitenvlakte, d. i. op den thoraxwand, uitgeoefend. De pijpvorm schijnt dus aan de buigingsbelasting der beenderen gebonden te

zijn. Het feit dat wij in de rangschikking van het materiaal de meest doelmatige zien om de buigingsbelasting te dragen, is echter verre van een mechanische verklaring voor die rangschikking.

Daar waar pezen zich met sterke bocht om been heenbuigen, en daardoor eenerzijds zelf aan stootenden druk zijn blootgesteld, anderzijds het been aan dien druk onderwerpen, zagen wij (zie Hoofdstuk V) òf in de pezen been tot ontwikkeling komen (sesambeenderen) òf onder haar verhevenheden ontwikkelen (draaiers van 't dijbeen, de tuberositas radii) welke loodrecht op den trek (ZSCHOKKE), d. i. tegen den druk in, gericht zijn. Welke van deze zich vormt, n. l. een sesambeen of een tuberositas, is ook weer een verschijnsel waarvoor een mechanische verklaring ontbreekt.

Daar waar talrijke spierbundels aanhechting behoeven, zien wij uitsteeksels aan de beenderen die in 't algemeen schuin of loodrecht op den trek der spieren gericht zijn, zoodat zij bij samentrekking der spieren op buiging worden beproefd. Het duidelijkst is dit in de uitsteeksels der wervels waarin door de aanhechting der talrijke spieren de buiging in vele richtingen kan plaats hebben, en dus ook druk- (en trek)spanningen kunnen worden opgewekt. — Niet altijd echter zien wij daar waar veel spierbundels oorsprong of aanhechting vragen, beenige uitsteeksels. Vaak zien wij peesweefsel van het been uitgaan, wat vooral bij de sterke, disteerende, spieren [1]) tot uitdrukking komt (b. v. in den triceps surae). Het peesweefsel valt dan uit den aard der zaak meer met de richting der spierbundels samen dan de beenuitsteeksels. Waarom nu van de wervels beenige uitsteek-

1) Zie MURK JANSEN, Ueber die Länge der Muskelbündel und ihre Bedeutung für die Entstehung der spastischen Kontrakturen. F. ENKE, Stuttgart, 1916 en in D. Zeitschr. f. Orth. Chir. Bd. XXXVI.

sels uitgaan en van dijbeen, tibia en fibula peesweefsel als ter vergrooting van de aanhechtingsplaats voor de talrijke spierbundels, is niet door mechanische krachten te verklaren. Moet men geen doelmatigheden zien in de getroffen schikkingen? Zou niet stoornis in de kniebuiging ontstaan bij beenige uitsteeksels achter aan dij-, scheen- en kuitbeen? Zouden niet bij het ontbreken van werveluitsteeksels minder lange hefboomsarmen en te korte bundellengte voor de rugspieren de bewegelijkheid der wervelkolom beperken? Ook bij bevestigende beantwoording dezer vragen echter blijft men verre van mechanische verklaring.

Niet voor alle uitsteeksels is het duidelijk dat door samentrekking der spierbundels buiging wordt teweeggebracht. De uitsteeksels b. v. welke zich in de aanhechtingsplaatsen van pezen en in de pezen van oude lieden kunnen ontwikkelen, zoowel als talrijke beenwoekeringen, bewijzen dat behalve mechanische — met name drukkende — krachten, ook andere factoren een rol bij de beenvorming en het bepalen van den vorm der beenderen kunnen spelen. Ieder dier vormsels zal voor een juist inzicht een afzonderlijk onderzoek eischen, dat echter buiten het bestek van dit opstel ligt. Wij moeten hier volstaan met op te merken dat zij geenszins kunnen gelden als bewijs dat trekspanningen tot beenvorming leiden, daar onder dezelfde mechanische verhoudingen deze vormingen kunnen uitblijven.

Hebben wij in de vorige hoofdstukken aangetoond dat bij een gegeven vorm der stuttende beenderen de functioneele druk hun inwendigen bouw — althans in grove trekken — bepaalt, in dit hoofdstuk zien wij dat noch de beenvorming noch de vorm der beenderen door den functioneelen druk zonder meer wordt bepaald. Ook indien men zou mogen aannemen dat aan een bepaalde eenheid van functioneelen druk een

beenbaan van constante lengte zoowel als van bepaalde dikte beantwoordt, en indien daarenboven die beeneenheid bekend ware, ook dan zou de mathematische samenvoeging der vereischte eenheden niet leiden tot den bestaanden vorm der beenderen. Een soort „verstandelijk overleg" zou noodig zijn dat hier een kokervorm gaf, daar een gewrichtsverbreeding en een spongieusen bouw bewerkte, elders besliste of een beenuitsteeksel dan wel een pezig aanhangsel zou ontstaan, een tuberositas of sesambeen, opdat stevigheid, lichtheid, kortom doelmatigheid voor steun en beweging zou worden verkregen. En in de beschuttende beenderen is — voorzoover daarvan kan worden gesproken — een soortgelijk „overleg" noodig reeds vóór het optreden der drukspanningen.

Doch ook indien wij hierin zouden dwalen, d. i. indien aan de functioneele krachten het vermogen kon worden toegekend, al deze bizondere beslissingen voor den doelmatigen vorm der beenderen te treffen, ook dan zou de vorm der beenderen niet „mathematisch" of „functioneel" kunnen worden genoemd, omdat nog andere krachten haar invloed daarop doen gelden:

In de eerste plaats is het feit dat beenderen in staat zijn grootere krachten te weerstaan dan die welke bij hun vorming werken (Zschokke), een niet mechanische factor die bij de sterkte — de diktebepaling, der elementen in rekening moet worden gebracht.

In de tweede plaats zijn de afrondingen en uithollingen der beenderen door lichten druk van aanliggende deelen in zijdelingsche richting, d. i. in richtingen loodrecht op die van functioneelen druk (zie blz. 75 ff.), even zoovele afwijkingen van den mathe-

matischen vorm der beenderen, omdat zij worden teweeggebracht door de „toevallige" aanwezigheid dier deelen, d. i. door onbeduidenden druk die met den functioneelen druk geen direct verband behoeft te hebben.

In de derde plaats eindelijk is de zelfstandige beenvorming die — gelijk wij in Hoofdstuk VI A zagen — mede een rol speelt in het bepalen van den vorm der beenderen, als na enucleëeren van een oog, klieven van een fascia, een beenvorming even onafhankelijk van functioneelen druk als die welke bij verplanting van been of beenvlies in weeke deelen, b. v. in den buikwand (heterotope beenverplanting) kan worden waargenomen. En het behouden-blijven van de knodsvormige verdikking der gewrichtseinden bij knieankylose, waarbij een periostale beenschaal zich beter handhaaft dan de aanliggende atrophische spongiosa, wijst op de werkzaamheid van erfelijke krachten welke den doelmatigen knodsvorm der beeneinden verzekeren, zelfs nadat het eigenlijk doel dier verdikking is vervallen door de beenige vergroeiing der gewrichtseinden; m. a. w. bewijst dat ook in de transformatie der beenderen — in tegenstelling met WOLFF's leer — andere dan mechanische krachten zich doen gelden.

Kortom, gelijk in Hoofdstuk II en III de leer van den trajectoriëelen bouw der beenderen, d.i. CULLMANN–MEYER–WOLFF–ROUX's leer van de formatie der beenderen, en daarmee WOLFF's wet van de transformatie der beenderen en zelfs van den functioneelen vorm der beenderen, onhoudbaar bleek, omdat daarbij ten onrechte aan trek gelijke beteekenis als aan druk werd toegeschreven, zoo leeren wij thans een tweeden grond kennen voor de onhoudbaarheid dier voorstellingen in het feit dat voor de formatie en de transformatie, zoowel als den vorm der beenderen, nog andere dan drukspanningen van invloed zijn welke voorshands niet tot mechanische kunnen worden herleid.

Wolff's fout lag dus niet alleen in het feit dat hij aan trekspanningen beteekenis toekende voor de beenvorming; doch ook daarin dat hij aan de mechanische krachten alles overheerschende beteekenis voor beenvorming en vervorming zoowel als voor den vorm der beenderen in 't algemeen, toekende.

HOOFDSTUK VII.

DOELMATIGHEID IN BEENVORMING.

Beschouwt men het skelet „geschapen door haar functie zelve" (Poirier l. c., T. I, p. 4), dan kan niet worden ontkend dat deze schepping een „doelmatige" is. Of anders: beschouwt men het skelet als de uitdrukking van een strijd tusschen beencellen eener- en drukspanningen anderzijds, ook dan moet worden toegegeven dat die strijd, normaliter ten gunste der beencellen beslecht, doelmatig gevoerd wordt. In den aard der tusschencelstof, die niet alleen den druk, maar ook den trek, zelfs in richtingen loodrecht op den druk, kan keeren; in de richting der beenbanen, samenvallend met de richting der druklijnen en c. q. daarmee wisselend (transformatie); in de overmaat van stevigheid, waardoor ook krachten kunnen worden gekeerd die de norm overschrijden; in de aanwezigheid van hetzelfde materiaal als ter beschutting rond teere, percipieerende, reguleerende organen; in de „inschikkelijkheid" voor weeke zusterweefsels, somtijds zoover gaande dat zij noodlottig wordt voor 't beenweefsel zelf; in den kokervorm der beenderen die aan buigingsbelasting zijn onderworpen; in de knodsvormige verdikking van de gewrichtseinden dezer beenderen; in den spongieusen bouw daar waar de voortgeleiding der drukspanningen door betrekkelijk groote dwarse doorsneden plaats vindt; in de

vorming van uitsteeksels voor aanhechting van actieve bewegingsorganen zien wij even zoovele „doelmatigheden".

Wij blijven ons bewust, hiermee niet alle verschijnselen van doelmatigheid te hebben opgesomd. Immers verschillende skeletdeelen, als de schouder- en de bekkengordel, zoowel als een groot aantal bizonderheden van het skelet, zijn geheel buiten onze beschouwing gebleven. Is niet b.v. de aanwezigheid van snij- en maaltanden in de kaken een verschijnsel van denzelfden aard? En geldt niet hetzelfde van de kraakbeenlaag der gewrichtsvlakken die zich handhaaft, hoewel zij aan dezelfde krachten is blootgesteld als de aanliggende spongiosa die zich geheel naar die krachten regelt?

Waar wij het woord „doelmatig" gebruiken, meenen wij geenszins een verklaring der verschijnselen te geven. Wij geven daarmee slechts te kennen dat de verrichtingen van de beencellen in het lichaam overeenkomst toonen met de verrichtingen onzer eigen rede, zooals deze zich toonen bij de vervaardiging van voorwerpen tot onzen dienst buiten het lichaam. En in 't onderstaande moge blijken dat daarvoor nog een andere grond bestaat.

Bij vele natuurkenners heerschen bezwaren tegen het zien en erkennen van „doelmatigheid" in de levende natuur.

Sommigen meenen met het zien van „doelmatigheid" de mechanische verklaring der verschijnselen — gewoonlijk „causale" genoemd — in gevaar te brengen. Dit boek moge een bewijs leveren dat integendeel de mechanische beschouwing der levensverschijnselen — in de eerste vijf hoofdstukken — met het zien van doelmatigheid — in het zesde en zevende hoofdstuk — vereenigbaar is. Het toetsen der levensverschijnselen aan mechanische krachten en 't onderzoek op hun doelmatigheid zijn twee wijzen van beschouwing,

onafhankelijk van elkaar, gelijk twee wijzen van onderzoek als b. v. het wegen en het meten. Evenals van een voorwerp, na te zijn gemeten, het gewicht kan worden bepaald, zoo kunnen de verschijnselen die mechanistisch zijn onderzocht, ook op hun doelmatigheid worden getoetst; en omgekeerd kan worden beproefd, de verschijnselen die wij „doelmatig" noemen, in mechanische elementen te ontbinden. Zoo zagen wij reeds in het parallelisme dat de vijf eerste hoofdstukken deden kennen tusschen beenvorming en drukspanningen een doelmatigheid, hoewel het ons nog niet gegeven is, omgekeerd de verschijnselen van doelmatigheid, welke wij in dit hoofdstuk opsomden, in mechanische componenten te ontleden.

Anderen meenen in het woord „doelmatigheid" een onbescheidenheid van den natuurbeschouwer te moeten zien. Wij kunnen ook dit bezwaar niet deelen: Wel niemand toch zal aarzelen, bewuste verrichtingen — als de vervaardiging van gebruiksvoorwerpen — c. q. doelmatig te noemen. En zou b. v. de coördinatie onzer bewegingen, omdat zij onbewust geschiedt, niet doelmatig mogen heeten? Of zouden „doelmatige" verrichtingen moeten worden geacht gebonden te zijn aan gangliëncellen, omdat slechts deze het vermogen hebben voorstellingen vast te leggen, dat wij leeren en weten noemen? — Een eenvoudige redeneering zal leeren dat ook dit niet het geval is.

Voor dengene die het standpunt van de leer der evolutie inneemt, is de wording der hoogere organismen gepaard gegaan met een arbeidsverdeeling, door Milne Edwards als natuurwet herkend, waarbij ieder der celgroepen een bepaalde functie tot hooger volmaking opvoert; doch zonder de andere functies geheel prijs te geven. Terwijl b. v. de mesoblastcellen de levering van

steunmateriaal tot hooger graad van volmaking opvoeren, gaat dit vermogen bij de epitheliale elementen niet geheel te loor: ook deze vertoonen als zoodanig hun hyaline membraan (GEGENBAUR). Dit rechtvaardigt dus de voorstelling dat, terwijl in de gangliëncellen het vermogen tot leeren en weten tot hooger volmamaking wordt opgevoerd, dit vermogen in de overige lichaamscellen niet geheel te loor gaat.

Het vermogen tot vastleggen van voorstellingen, d. i. tot leeren en weten, mag dus niet zonder meer worden geacht beperkt te zijn tot gangliëncellen. De wijze van arbeidsverdeeling bij de wording der hoogere organismen levert zekere waarschijnlijkheid dat ook de beencellen dit vermogen bezitten — zij 't ook in beperkter mate dan de gangliëncellen. Zij schijnen dit te hebben gebruikt in de ontwikkeling der soort, en erfelijk te toonen ook in de ontwikkeling van het individu. Indien de doelmatige verrichtingen aan het vermogen tot leeren en weten zijn gebonden, behoeven dus de onbewuste doelmatigheden onzer beencellen ons niet meer te verbazen dan de doelmatige — hetzij bewuste of onbewuste — verrichtingen onzer gangliëncellen; en moet het willekeurig geacht worden, aan gangliëncellen een vermogen tot doelmatige verrichtingen toe te kennen waarvan men de beencellen uitsluit. Zoo leidt ons dus de leer der evolutie er toe, aan te nemen dat in de beencellen voor ons onbewust iets is van het vermogen tot weten en leeren welks aanwezigheid in de gangliëncellen wij ons „bewust" noemen.

Doch, of men de leer der evolutie en daarmee de verdeeling van den arbeid onder de verschillende celgroepen — met hooger volmaking van een bepaalde eigenschap onder behoud van een deel der oorspronkelijke eigenschappen — aanvaardt of niet, wij kunnen ons niet onttrekken aan de

voorstelling dat in de levensverschijnselen een iets een rol speelt „dat het doel in zich draagt" (ὃ ἔχει ἐν ἑαυτῷ τὸ τέλος), dat wij met het woord van Aristoteles „entelechie"[1]) kunnen noemen, en dat voor mechanische verklaring voorshands evenmin toegankelijk is als de verschijnselen onzer rede — νοῦς of λόγος. Ziet niet ieder natuuronderzoeker in de levende natuur een „streven" tot instandhouding van het individu, een „streven" tot instandhouding van de soort, en zien niet velen een „streven" ook tot hooger volmaking? En is niet elk „streven" op een „doel" gericht? Trouwens, na ARISTOTELES hebben universeele geesten als GALILEI, NEWTON, LEIBNITZ, KANT, v. HARTMANN en anderen in de natuur „doelmatigheid" herkend.

Alle verrichtingen der beencellen nu die wij in de vorming van beenweefsel en in den vorm der beenderen leerden kennen — zoowel die der eerste vijf hoofdstukken welke een parallelisme met drukkende krachten toonden, als de in de beide laatste hoofdstukken besprokene, welke van drukkende krachten meer onafhankelijk bleken — schijnen ons gericht op een zelfde doel, het leveren van steun en beschutting ter instandhouding van het individu. Naar

---

1) H. DRIESCH, Philosophie des Organischen (Gifford-Vorlesungen, Aberdeen) I. Bd. p. 145. Vgl. ook: E. HERING, Ueber das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organischen Materie 1870.

R. SEMON, Die Mneme, 1908.

id., Die mnemischen Empfindungen 1909.

PAULY, Darwinismus u. Lamarckismus. München 1905.

ED. V. HARTMANN, Das Problem des Lebens. — H. HAACKE, Bad Sachsa.

R. H. FRANCÉ, Der heutige Stand der Darwinischen Fragen. — THOMAS, Leipzig.

JENNINGS, Die niederen Organismen, ihre Reizphysiologie und Psychologie. TEUBNER, Leipzig, Berlin.

KOHNSTAMM, Ontwikkeling en Onttroning van het Begrip natuurwet. Synthese 3de deel II 1916, Erven BOHN, Haarlem.

FABRE, Souvenirs entomologiques.

J. CLAY, Schets eener kritische geschiedenis van het Begrip Natuurwet. (Bekroond prijsantwoord). E. J. BRILL, Leiden 1915.

dit doel, mechanisch als het is, schijnen de beencellen te streven met middelen en op wijzen welke overeenkomst toonen met die welke onze eigen rede zou aanwenden. En dit moge de tweeledige rechtvaardiging zijn voor het feit dat wij de verrichtingen der beencellen „doelmatig'' hebben genoemd, totdat het ons gegeven zal zijn dieper in het wezen dier verschijnselen door te dringen. Wij geven haar met bescheidenheid in overweging aan degenen die in hun beschouwingen over de wording der levende wezens — en dus ook over de vorming van beenweefsel — meenen met den invloed van mechanische krachten en het toeval te kunnen volstaan.

